

**“AÑO DEL DIÁLOGO Y LA RECONCILIACIÓN NACIONAL”**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**PROYECTO DE TESIS**

**PARA OBTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**“Control de Calidad del Revestimiento en la obra del Pique de Presión - Central Hidroeléctrica Cerro del Águila 525MW, Río Mantaro - Departamento de Huancavelica”**

**TESISTA:** Bach. Ing. VICTOR ANDRES ALVARADO NAVARRETE

**ASESOR:** Ing. ZIVKO GENCEL OPALIC M.Sc.

**PIURA – PERÚ**

**Noviembre, 2018**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL:

**“CONTROL DE CALIDAD DEL REVESTIMIENTO EN LA OBRA DEL PIQUE  
DE PRESIÓN – CENTRAL HIDROELÉCTRICA CERRO DEL ÁGUILA 525  
MW, RÍO MANTARO – DEPARTAMENTO DE HUANCVELICA”**

LOS SUSCRITOS DECLARAMOS QUE EL PRESENTE TRABAJO DE TESIS ES  
ORIGINAL EN SU CONTENIDO Y FORMA:

ING. ZIVKO GENCEL MSc.

**Asesor**

BACH. ING. VÍCTOR ANDRÉS ALVARADO NAVARRETE

**Tesista**

**PIURA, NOVIEMBRE 2018.**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
Facultad de Ingeniería Civil  
DECANATO

## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los Miembros del Jurado Calificador, que suscriben, reunidos para estudiar el Trabajo de Tesis, presentado por el ex alumno de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Piura.

**BACH. ALVARADO NAVARRETE VICTOR ANDRES**

### TESIS TITULADA

**"CONTROL DE CALIDAD DEL REVESTIMIENTO EN LA OBRA DEL PIQUE DE PRESION – CENTRAL HIDROELECTRICA CERRO DEL AGUILA 525 MW, RIO MANTARO – DEPARTAMENTO DE HUANCAMELICA"**

Oídas las observaciones y las respuestas a las preguntas, lo declaran

APROBADO con el calificativo de BUENO

En consecuencia, queda en condiciones de ser calificado:

APTO

Por el Consejo de Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el **título de INGENIERO CIVIL**, de conformidad con lo estipulado en el Art. 176 del Estatuto General de la Universidad Nacional de Piura.

PIURA, 25 DE OCTUBRE DE 2018.

  
**ING. CARMEN CHILON MUÑOZ M.Sc.**  
**PRESIDENTE**

  
**ING. JULIAN FEDERICO DIENSTMAIER LEON**  
**SECRETARIO**

  
**ING. AURELIO DEMOSTENES MENDOZA MONTENEGRO**  
**VOCAL**

CAMPUS UNIVERSITARIO S/N. URBANIZACIÓN MIRAFLORES, CASTILLA - PIURA  
TELÉFONO: 285251 ANEXO: 2104 - FAX: 343349



## **AGRADECIMIENTOS**

A mi esposa, por su gran amor, motivación y respaldo incondicional en todo momento, y en especial en esta etapa de mi vida y carrera profesional.

Al ingeniero Zivko Gencel, por aceptar ser mi asesor, por su tiempo, gran conocimiento y apoyo que permitieron desarrollar esta tesis.

A mis amigos y colegas del proyecto C.H. Cerro del Águila, por compartirme la información necesaria para desarrollar este informe.

A todos mis familiares y personas que con su total predisposición, ayudaron a que yo pueda dedicar tiempo a realizar este proyecto.





## **DEDICATORIA**

A Dios por otorgarme vida, salud, amor y trabajo.

A mis padres, pues gracias a su apoyo y sacrificio puedo ejercer esta maravillosa profesión.

A mi esposa; mi amiga y confidente.

A mi pequeño hijo, por ser ese motorcito que cada día me empuja a seguir siempre adelante.



## RESUMEN

En esta tesis se describe el Control de Calidad del Revestimiento de Concreto Armado y el control de calidad específico ejecutado durante las distintas fases de la construcción del Pique de Presión, dentro de la Central Hidroeléctrica “Cerro del Águila”, en el departamento de Huancavelica; actualmente esta central hidroeléctrica es la segunda más grande del país con 525 MW de potencia. Cabe resaltar que, el “Complejo Hidroeléctrico del Mantaro”, ubicado también en el departamento Huancavelica, es el más grande del Perú, generando 1008 MW, éste complejo cuenta con 02 centrales hidroeléctricas en funcionamiento: La C.H. “Santiago Antúnez de Mayolo” y la C.H. “Restitución”, de 798 MW y 210 MW de potencia respectivamente.

El Pique de Presión construido, es una estructura vital dentro de la central hidroeléctrica “Cerro del Águila”, es la parte vertical del túnel de aducción de agua, este flujo de agua a presión, proviene del aprovechamiento de la fuente hídrica del Río Mantaro, gracias al embalse generado por la presa de gravedad construida. El Pique de Presión tiene 03 etapas de construcción bien definidas: Excavación, Sostenimiento y Revestimiento. Todas estas etapas, tuvieron su Plan de Control de Calidad específico, con el cual se buscó garantizar el cumplimiento de todas las especificaciones técnicas y contractuales en las que se regía el proyecto.

Para el caso de la etapa de Revestimiento con concreto armado, se realizó lo siguiente: La toma de muestras de la mezcla empleada para los vaciados, la ejecución de los ensayos de resistencia a la compresión de las muestras tomadas (obtención de datos), el procesamiento de estos datos y la consecuente evaluación estadística (en base a la norma ACI 214R), de la calidad del concreto empleado y de la calidad de los controles ejecutados; con lo cual, se conocen y comparan los resultados obtenidos en obra, con los estándares exigidos por norma, para poder conocer, verificar y, si es el caso, mejorar el grado de control implementado durante esta etapa de Revestimiento del Pique de Presión.

**PALABRAS CLAVES:** Control, Calidad, Plan, Concreto, Pique, Revestimiento, Muestra, Vaciado, Ensayo, Resistencia, Evaluación, Estadística, Norma, Estándar.



## ABSTRACT

This thesis describes the Quality Control of Reinforced Concrete Siding and the specific quality control executed during the different phases of the construction of the Pressure Pique, within the "Cerro del Águila" Hydroelectric Plant, in the department of Huancavelica; Currently, this hydroelectric plant is the second largest in the country with 525 MW of power. It should be noted that the "Mantaro Hydroelectric Complex", also located in the department Huancavelica, is the largest in Peru, generating 1008 MW, this complex has 02 hydroelectric power stations in operation: La C.H. "Santiago Antúnez de Mayolo" and the C.H. "Restitution", of 798 MW and 210 MW of power respectively.

The Pressure Pique built, is a vital structure within the hydroelectric power station "Cerro del Águila", it is the vertical part of the water adduction tunnel, this pressure water flow comes from the use of the water source of the Mantaro River, thanks to the reservoir generated by the constructed gravity dam. The Pressure Pique has 3 well-defined construction stages: Excavation, Support and Coating. All these stages had their specific Quality Control Plan, which sought to ensure compliance with all the technical and contractual specifications in which the project was governed.

For the case of the Coating stage with reinforced concrete, the following was carried out: The sampling of the mixture used for the castings, the execution of the compressive strength tests of the samples taken (obtaining data), the processing of these data and the consequent statistical evaluation (based on the ACI 214R standard), the quality of the concrete used and the quality of the controls executed; with which, the results obtained in the work are known and compared with the standards required by the norm, in order to know, verify and, if necessary, improve the degree of control implemented during this stage of the Pressure Pique Coating.

**KEY WORDS:** Control, Quality, Plan, Concrete, Pique, Coating, Sample, Emptying, Test, Resistance, Evaluation, Statistics, Standard, Standard.



## ÍNDICE

<b>LISTADO DE GRÁFICOS .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTADO DE TABLAS .....</b>	<b>26</b>

### **CAPITULO I: GENERALIDADES**

<b>1.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>28</b>
<b>1.2. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>30</b>
<b>1.3. PROBLEMA.....</b>	<b>30</b>
<b>1.4. OBJETIVOS.....</b>	<b>30</b>
1.4.1. Objetivo General.....	30
1.4.2. Objetivos Específicos.....	31
<b>1.5. HIPÓTESIS.....</b>	<b>31</b>
<b>1.6. METODOLOGÍA.....</b>	<b>31</b>

### **CAPITULO II: DESCRIPCIONES GENERALES Y ESPECÍFICAS DE LA OBRA Y ACTIVIDADES**

<b>2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO: “CENTRAL HIDROELÉCTRICA CERRO DEL ÁGUILA 525 MW”.....</b>	<b>32</b>
2.1.1. Ubicación.....	32
2.1.2. Aspectos generales.....	33
2.1.3. Datos técnicos de la central hidroeléctrica.....	42
<b>2.2. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA: PIQUE DE PRESIÓN.....</b>	<b>43</b>
<b>2.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA EL PIQUE DE PRESIÓN.....</b>	<b>45</b>
2.3.1. Descripción del proceso de excavación.....	45
2.3.1.1. Primera fase / Raise Borer.....	45
2.3.1.2. Segunda fase / Ampliación de diámetro de excavación.....	50
2.3.2. Descripción del proceso de garantizar el autosostenimiento de las paredes de la excavación.....	53
2.3.2.1. Sostenimiento con Shotcrete.....	54
2.3.2.1.1. Equipos principales de apoyo utilizados.....	55
2.3.2.2. Sostenimiento con pernos helicoidales y cimbras metálicas.....	56
2.3.2.2.1. Equipos principales usados.....	60
2.3.3. Descripción del proceso de revestimiento con concreto armado.....	60



2.3.3.1. Criterios estructurales.....	60
2.3.3.2. Equipos principales usados.....	63
2.3.3.3. Procedimiento general del Revestimiento.....	65
2.3.3.3.1. Instalación del acero de refuerzo.....	67
2.3.3.3.2. Encofrado y desencofrado.....	68
2.3.3.3.3. Vaciado de concreto.....	70

### **CAPITULO III:**

### **NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD**

<b>3.1. ANTECEDENTES DEL CONTROL DE CALIDAD Y NORMATIVA.....</b>	<b>73</b>
3.1.1. Antecedentes del control de calidad.....	73
3.1.2. Normativa.....	73
<b>3.2. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL.....</b>	<b>74</b>
3.2.1. Planificación de Pruebas, Controles y Ensayos.....	74
3.2.1.1. Plan de Control de Calidad (PCQ: Quality Control Plan).....	74
3.2.1.2. Pruebas, Controles y Ensayos en la Recepción.....	76
3.2.1.3. Pruebas, Controles y Ensayos en el Proceso.....	77
3.2.1.4. Pruebas, Controles y Ensayos Finales.....	77
3.2.1.5. Control de los equipos de inspección, medición y ensayo.....	78
3.2.2. Control de la Excavación.....	78
3.2.2.1. Control topográfico - Control de avance y convergencias.....	79
3.2.2.1.1. Plan de control de calidad – Excavación.....	79
3.2.2.1.2. Control de avance.....	79
3.2.2.1.3. Medición y control de convergencias.....	86
3.2.3. Control y métodos de Sostenimiento.....	91
3.2.3.1. Clasificación geomecánica y tipo de sostenimiento.....	91
3.2.3.2. Control del Sostenimiento con Shotcrete.....	92
3.2.3.2.1. Plan de Control de Calidad – Sostenimiento con Shotcrete.....	93
3.2.3.2.2. Diseño de mezcla – Control de Materiales.....	95
3.2.3.2.3. Controles previos a la aplicación.....	112
3.2.3.2.4. Control de la mezcla fresca.....	113
3.2.3.2.5. Control en la aplicación.....	120
3.2.3.2.6. Control de la mezcla endurecida.....	125
3.2.3.3. Control del Sostenimiento con Pernos.....	133
3.2.3.3.1. Plan de Control de Calidad – Sostenimiento con Pernos.....	133
3.2.3.3.2. Control de materiales.....	134
3.2.3.3.3. Control en la instalación.....	136
3.2.3.3.4. Ensayo - Pull Out Test a Pernos de Sostenimiento.....	139



3.2.3.4. Control del Sostenimiento con Cimbras.....	143
3.2.3.4.1. Plan de Control de Calidad – Sostenimiento con Cimbras.....	143
3.2.3.4.2. Control de materiales.....	144
3.2.3.4.3. Control en la instalación.....	145
3.2.4. Control de la Calidad de Revestimiento con concreto armado.....	148
3.2.4.1. Plan de control de calidad – Revestimiento.....	148
3.2.4.2. Acero de refuerzo.....	149
3.2.4.2.1. Control del material.....	149
3.2.4.2.2. Control en la instalación.....	150
3.2.4.3. Encofrado.....	155
3.2.4.3.1. Control en la instalación.....	155
3.2.4.4. Vaciado de concreto.....	158
3.2.4.4.1. Diseño de mezcla empleado.....	158
3.2.4.4.2. Controles previos al vaciado.....	165
3.2.4.4.3. Control de la mezcla fresca.....	167
3.2.4.4.4. Control en la colocación o vaciado.....	170
3.2.4.4.5. Tratamiento de juntas de construcción.....	172
3.2.4.5. Control de la mezcla endurecida.....	176
3.2.5. Control de los resanes y/o reparaciones del revestimiento.....	179
3.2.5.1. Equipos principales usados.....	179
3.2.5.2. Plan de control de calidad – Resane y/o Reparaciones de concreto en estructuras hidráulicas.....	180
3.2.5.3. Control de materiales.....	181
3.2.5.4. Proceso de resane y/o reparación.....	182

#### **CAPITULO IV:**

#### **LECCIONES APRENDIDAS RESCATADAS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO ESPECÍFICO**

<b>4.1. ETAPA DE EXCAVACIÓN.....</b>	<b>188</b>
4.1.1. Evento 01: Presencia de agua proveniente de perforación piloto – Raise Borer.....	188
4.1.2. Evento 02: Obstrucción del pozo escariado – Excavación por voladura.....	190
<b>4.2. ETAPA DE SOSTENIMIENTO.....</b>	<b>192</b>
4.2.1. Evento 01: Presencia de zonas de fracturas – Sostenimiento reforzado.....	192

**194**





<b>4.3. ETAPA DE REVESTIMIENTO.....</b>	<b>194</b>
4.3.1. Evento 01: Interrupción de vaciado.....	199
4.3.2. Evento 02: Ajuste del revestimiento de concreto armado en el tramo de sostenimiento con cimbras.....	
<b>CAPITULO V:</b>	
<b>RESULTADOS RESUMIDOS DE CONTROL DE CALIDAD</b>	<b>201</b>
<b>5.1. ESTATUS DE OBSERVACIONES Y REPORTE DE NO CONFORMIDAD.....</b>	<b>204</b>
<b>5.2. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO ENDURECIDO.....</b>	<b>204</b>
5.2.1. Procesamiento de datos.....	
5.2.1.1. Evaluación estadística de los ensayos de resistencia a compresión (Pruebas generales de construcción o Condiciones de fabricación del concreto).....	204
5.2.1.2. Evaluación estadística de la Calidad del Control de los ensayos (Pruebas de control de campo).....	206
5.2.2. Resultados.....	208
5.2.3. Interpretación de resultados.....	
<b>CAPITULO VI:</b>	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>213</b>
<b>6.1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>214</b>
<b>6.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>216</b>
<b>CAPITULO VII:</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	
<b>CAPITULO VIII:</b>	
<b>ANEXOS</b>	<b>219</b>
ANEXO 01 – SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE.....	229
ANEXO 02 – SOSTENIMIENTO CON CIMBRA METÁLICA.....	232
ANEXO 03 – PERNOS DE SOSTENIMIENTO.....	



ANEXO 04 – PLATAFORMAS DE TRABAJO Y ENCOFRADO CIRCULAR TREPANTE.....	<b>237</b>
ANEXO 05 – TIPO DE SOSTENIMIENTO PROYECTADO PARA EL PIQUE DE PRESIÓN.....	<b>243</b>
ANEXO 06– PLANTILLAS DE LA EVALUACIÓN ESTADÍSTICA REALIZADA DE LAS RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN OBTENIDAS DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO QUE FORMARON PARTE DEL REVESTIMIENTO DEL PIQUE DE PRESIÓN.....	<b>251</b>
ANEXO 07 – HOJAS TÉCNICAS DE ALGUNOS PRODUCTOS EMPLEADOS EN OBRA.....	<b>255</b>



## LISTADO DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 001</b>	
UBICACIÓN DEL PROYECTO - MAPA GENERAL.....	32
<b>Gráfico 002</b>	
UBICACIÓN DEL PROYECTO – VISTA EN PLANTA.....	33
<b>Gráfico 003</b>	
VISTA DEL CUERPO DE LA PRESA CDA – PERFIL LONGITUDINAL.....	34
<b>Gráfico 004</b>	
PRESA CDA EN FUNCIONAMIENTO.....	34
<b>Gráfico 005</b>	
SISTEMA DE TÚNELES – VISTA ISOMÉTRICA.....	36
<b>Gráfico 006</b>	
VISTA TRANSVERSAL DE LAS CAVERNA DE MÁQUINAS, DE TRANSFORMADORES Y DE COMPUERTAS.....	37
<b>Gráfico 007</b>	
CAVERNA DE MÁQUINAS EN FUNCIONAMIENTO.....	38
<b>Gráfico 008</b>	
CAVERNA DE TRANSFORMADORES EN FUNCIONAMIENTO.....	38
<b>Gráfico 009</b>	
CAVERNA DE COMPUERTAS EN FUNCIONAMIENTO.....	39
<b>Gráfico 010</b>	
PERFIL LONGITUDINAL DE SALIDA DE TÚNEL DE DESCARGA, RAMPA DISIPADORA Y AZUD DE RESTITUCIÓN .....	40
<b>Gráfico 011</b>	
RAMPA DISIPADORA Y AZUD DE RESTITUCIÓN EN FUNCIONAMIENTO.....	40
<b>Gráfico 012</b>	
UBICACIÓN DE LÍNEA DE TRANSMISIÓN Y SUB ESTACIONES DEL PROYECTO.....	41
<b>Gráfico 013</b>	
SUB ESTACIONES CONECTADAS PARA EL PROYECTO.....	41
<b>Gráfico 014</b>	
ESQUEMA ELECTRICO DE LA C.H. CERRO DEL ÁGUILA.....	42
<b>Gráfico 015</b>	
UBICACIÓN DEL PIQUE DE PRESIÓN DENTRO DEL PROYECTO.....	43
<b>Gráfico 016</b>	
VISTA DE ELEVACIÓN Y PLANTA DEL TRAZO DEL PIQUE (Desde Túnel de Conducción hasta encuentro con turbinas).....	43



<b>Gráfico 017</b>	
TRANSICIÓN ENTRE EL CONCRETO ARMADO Y BLINDAJE METÁLICO.....	44
<b>Gráfico 018</b>	
VISTA DE LA BOCA DEL PIQUE Y DE LAS SECCIONES INTERIORES DENTRO DEL MISMO.....	44
<b>Gráfico 019</b>	
VISTA EN PLANTA DEL TRAMO DE TUBERÍA FORZADA.....	45
<b>Gráfico 020</b>	
EQUIPO DE PERFORACIÓN “RAISE BORER 71 ROBBINS”.....	46
<b>Gráfico 021</b>	
PROCESO DE PERFORACIÓN CON SISTEMA RAISE BORER.....	47
<b>Gráfico 022</b>	
SISTEMA RAISE BORER vs SISTEMA ALIMAK.....	48
<b>Gráfico 023</b>	
OPERACIÓN DEL SISTEMA RAISE BORER.....	49
<b>Gráfico 024</b>	
PERFORADORA NEUMÁTICA MANUAL – JACK LEG.....	50
<b>Gráfico 025</b>	
EXCAVADORA TIPO “ARAÑA” – RETRO ARAÑA.....	50
<b>Gráfico 026</b>	
PUENTE GRÚA CON CARROS DE 5 Y 25 TONELADAS UBICADO EN LA PARTE SUPERIOR DEL PIQUE.....	51
<b>Gráfico 027</b>	
TAPÓN METÁLICO PARA CUBRIR PERFORACIÓN PILOTO EJECUTADA (AMPLIACIÓN DE DIÁMETRO).....	51
<b>Gráfico 028</b>	
PERFORACIÓN DE TALADROS CON EQUIPOS CLÁSICOS EN LOS QUE SE COLOCARÁN LOS CARTUCHOS DE EXPLOSIVOS.....	52
<b>Gráfico 029</b>	
TRANSPORTE DE EXCAVADORA “RETROARAÑA” Y ELIMINACIÓN DE ESCOMBROS PRODUCTO DE LA VOLADURA A TRAVÉS DEL TÚNEL PILOTO VERTICAL.....	53
<b>Gráfico 030</b>	
CICLO DE TRABAJO – EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO.....	54
<b>Gráfico 031</b>	
SHOTCRETE – CAPAS DE LANZADO.....	54
<b>Gráfico 032</b>	
FAENA DE SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE.....	55



<b>Gráfico 033</b>	
PLANTA DE CONCRETO “CONECO” .....	56
<b>Gráfico 034</b>	
MÁQUINA IMPULSADORA “OCMER MEDIA OCM-46” .....	56
<b>Gráfico 035</b>	
GEOMETRÍA DE CIMBRA CIRCULAR UTILIZADA EN OBRA.....	57
<b>Gráfico 036</b>	
SOSTENIMIENTO CON CIMBRA EN PROCESO.....	58
<b>Gráfico 037</b>	
SOSTENIMIENTO CON CIMBRA CULMINADO.....	58
<b>Gráfico 038</b>	
PERNO HELICOIDAL INSTALADO – Ejemplo de distribución en Tresbolillo.....	59
<b>Gráfico 039</b>	
PERNO HELICOIDAL INSTALADO – Corte longitudinal típico.....	59
<b>Gráfico 040</b>	
SOSTENIMIENTO TÍPICO CON PERNO HELICOIDAL – Instalación.....	60
<b>Gráfico 041</b>	
PERFIL DE LOS TRAMOS EN QUE SE DIVIDIÓ EL ANÁLISIS DEL PIQUE.....	62
<b>Gráfico 042</b>	
PLATAFORMAS DE TRABAJO Y ENCOFRADO CIRCULAR TREPANTE.....	64
<b>Gráfico 043</b>	
BOMBA IMPULSADORA DE CONCRETO MODELO TK 70.....	64
<b>Gráfico 044</b>	
VIBRADOR DE CONCRETO - TIPO AGUJA Y DE CONTACTO.....	65
<b>Gráfico 045</b>	
SECCIÓN TÍPICA DEL REVESTIMIENTO DE CONCRETO ARMADO.....	65
<b>Gráfico 046</b>	
TRAMOS DE ACERO DE REFUERZO – Sección típica.....	66
<b>Gráfico 047</b>	
ANILLO DE ACERO DE REFUERZO – Distribución del acero en cada tramo.....	66
<b>Gráfico 048</b>	
TRAMOS QUE FORMAN EL ANILLO DE ACERO DE REFUERZO.....	67
<b>Gráfico 049</b>	
DESCENSO DE TRAMOS Y EMPALME DE ANILLO DE ACERO DE REFUERZO.....	68
<b>Gráfico 050</b>	
COLOCACIÓN DE GUÍAS ANTES DEL VACIADO PARA POSTERIORES INYECCIONES.....	68



<b>Gráfico 051</b>	
VISTA EN PLANTA DE LOS 04 PANELES DEL ENCOFRADO.....	69
<b>Gráfico 052</b>	
ENCOFRADO TREPANTE – ASCENSO DEL SISTEMA.....	70
<b>Gráfico 053</b>	
ETAPA DE ENCOFRADO Y DESENCOFRADO.....	70
<b>Gráfico 054</b>	
ESQUEMA DEL VACIADO DESDE PARTE INFERIOR DEL PIQUE.....	71
<b>Gráfico 055</b>	
ESQUEMA DEL VACIADO DESDE PARTE SUPERIOR DEL PIQUE.....	72
<b>Gráfico 056</b>	
CRITERIOS PARA ELABORAR EL PLAN DE CALIDAD.....	75
<b>Gráfico 057</b>	
EJEMPLO DE PLAN DE CONTROL DE CALIDAD PARA EL AGUA UTILIZADA EN OBRAS DE CONCRETO.....	76
<b>Gráfico 058</b>	
FASES DE ACCIÓN ANTE UN SUMINISTRO NO CONFORME.....	77
<b>Gráfico 059</b>	
PLAN DE CONTROL DE CALIDAD – EXCAVACIÓN.....	79
<b>Gráfico 060</b>	
DESVIACIÓN ENCONTRADA DESPUÉS DE CULMINADA LA PERFORACIÓN DEL PILOTO.....	80
<b>Gráfico 061</b>	
RAISE BORER – INICIO DE PERFORACIÓN PILOTO.....	81
<b>Gráfico 062</b>	
RAISE BORER – FIN DE PERFORACIÓN PILOTO.....	81
<b>Gráfico 063</b>	
RAISE BORER – INICIO DE ESCARIADO (ENSANCHE DE DIÁMETRO INICIALMENTE PERFORADO).....	81
<b>Gráfico 064</b>	
RAISE BORER – FIN DE ESCARIADO.....	82
<b>Gráfico 065</b>	
CICLO DE TRABAJO Y CONTROL – EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO.....	82
<b>Gráfico 066</b>	
INICIO DE EXCAVACIÓN POR VOLADURA.....	83
<b>Gráfico 067</b>	
EJEMPLO DE DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN.....	83
<b>Gráfico 068</b>	
CORRECTO PARALELISMO DE TALADROS.....	84





<b>Gráfico 069</b>	
INCORRECTO PARALELISMO DE TALADROS.....	84
<b>Gráfico 070</b>	
CONTROL TOPOGRÁFICO EN LA ETAPA DE EXCAVACIÓN.....	85
<b>Gráfico 071</b>	
ETAPA DE EXCAVACIÓN POR VOLADURA CULMINADA – VISTA INFERIOR DEL PIQUE EXCAVADO.....	85
<b>Gráfico 072</b>	
ESQUEMA BÁSICO DE DEFORMACIONES EN LA SUPERFICIE Y ESFUERZOS EN TÚNEL.....	86
<b>Gráfico 073</b>	
EFFECTO ARCO - Líneas de tensiones del terreno alrededor de una cavidad.....	87
<b>Gráfico 074</b>	
COBERTURA DEL PIQUE DE PRESIÓN EN SENTIDO HORIZONTAL, VERTICAL Y ORTOGONAL A LA LADERA.....	87
<b>Gráfico 075</b>	
PLATINA INSTALADA PARA MEDICIÓN DE CONVERGENCIA.....	88
<b>Gráfico 076</b>	
ESQUEMA DE LOS PUNTOS DE CONTROL Y MEDICIÓN DE CONVERGENCIAS.....	89
<b>Gráfico 077</b>	
DETALLE DE MEDIDA DE CONVERGENCIA EN PLATINA.....	89
<b>Gráfico 078</b>	
CONSIDERACIONES PARA LAS MEDICIONES DE CONVERGENCIA.....	90
<b>Gráfico 079</b>	
EJEMPLO DE SOSTENIMIENTO PROYECTADO PARA EL PIQUE DE PRESIÓN (Sección y detalle).....	92
<b>Gráfico 080</b>	
PLAN DE CONTROL DE CALIDAD – SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE.....	93
<b>Gráfico 081</b>	
PLAN DE CONTROL DE CALIDAD PARA LABORATORIO – SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE.....	95
<b>Gráfico 082</b>	
DISEÑO DE MEZCLA USADO PARA EL SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE DEL PIQUE DE PRESIÓN.....	96
<b>Gráfico 083</b>	
CURVA GRANULONÉTRICA OBTENIDA DE LA ARENA CHANCADA PARA SHOTCRETE.....	97



<b>Gráfico 084</b>	
RESULTADO DEL ENSAYO - EQUIVALENTE DE ARENA PARA EL AGREGADO EMPLEADO EN LA MEZCLA LANZADA EN EL PIQUE DE PRESIÓN.....	98
<b>Gráfico 085</b>	
CONDICIONES DE HUMEDAD DEL AGREGADO.....	99
<b>Gráfico 086</b>	
RESULTADOS DEL ENSAYO – GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.....	99
<b>Gráfico 087</b>	
RESULTADOS DEL ENSAYO – PESO UNITARIO Y VACÍO DEL AGREGADO.....	100
<b>Gráfico 088</b>	
RESULTADOS DEL ENSAYO – PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO.....	101
<b>Gráfico 089</b>	
RESULTADOS DEL ENSAYO – TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL DE LA MEZCLA.....	102
<b>Gráfico 090</b>	
RESULTADOS DEL ENSAYO – RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILÍNDRICOS.....	103
<b>Gráfico 091</b>	
COMPONENTES DE LA MEZCLA PARA SHOTCRETE.....	103
<b>Gráfico 092</b>	
PLAN DE CONTROL DE CALIDAD PARA EL CEMENTO.....	105
<b>Gráfico 093</b>	
CERTIFICADO DE CONTROL DE CALIDAD DEL CEMENTO EMPLEADO.....	106
<b>Gráfico 094</b>	
PLAN DE CONTROL DE CALIDAD PARA EL AGUA.....	107
<b>Gráfico 095</b>	
CERTIFICADO DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA PARA MEZCLA.....	108
<b>Gráfico 096</b>	
ALMACENAMIENTO DE ADITIVOS EN CILINDROS Y DISPENSADOR CÚBICO.....	109
<b>Gráfico 097</b>	
PRESENTACIÓN DE FIBRAS METÁLICAS.....	110
<b>Gráfico 098</b>	
LONGITUD RECOMENDADA PARA LA FIBRA.....	111
<b>Gráfico 099</b>	
CALIBRADOR O PIN METÁLICO.....	113



<b>Gráfico 100</b>	
GUÍA DE DESPACHO DE MEZCLA.....	114
<b>Gráfico 101</b>	
MEDIDA DEL ASENTAMIENTO – SHOTCRETE.....	114
<b>Gráfico 102</b>	
EFFECTOS DE LA TEMPERATURA ELEVADA EN LA MEZCLA.....	115
<b>Gráfico 103</b>	
MEDIDA DE LA TEMPERATURA DE LA MEZCLA.....	115
<b>Gráfico 104</b>	
ENSAYO DE PESO UNITARIO DE LA MEZCLA.....	116
<b>Gráfico 105</b>	
ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE.....	116
<b>Gráfico 106</b>	
MUESTREO DE PANELES PARA ENSAYO A COMPRESIÓN.....	117
<b>Gráfico 107</b>	
MUESTREO DE PANELES PARA ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA.....	118
<b>Gráfico 108</b>	
PENETRÓMETRO DE BOLSILLO Y PENETRÓMETRO CON AGUJAS REMOVIBLES.....	119
<b>Gráfico 109</b>	
ENSAYO DE FRAGUA INICIAL Y FINAL.....	119
<b>Gráfico 110</b>	
LAVADO DE SUPERFICIE PREVIO AL LANZADO.....	120
<b>Gráfico 111</b>	
TALADRO DE DRENAJE.....	120
<b>Gráfico 112</b>	
CONCEPTO DE REBOTE EN EL SHOTCRETE.....	121
<b>Gráfico 113</b>	
FACTORES INFLUYENTES EN EL REBOTE Y EN LA CALIDAD DEL SHOTCRETE.....	122
<b>Gráfico 114</b>	
TESTIGOS EXTRAIDOS PARA VERIFICAR LA CALIDAD DEL SHOTCRETE.....	122
<b>Gráfico 115</b>	
INFLUENCIA DEL ÁNGULO DE APLICACIÓN.....	123
<b>Gráfico 116</b>	
DISTANCIA DE LANZADO.....	123
<b>Gráfico 117</b>	
MOVIMIENTO CIRCULAR DE LA BOQUILLA INDICADO PARA EL LANZADO.....	124



<b>Gráfico 118</b>	
PRESIÓN DE LANZADO DE LA MEZCLA DURANTE EL SOSTENIMIENTO DEL PIQUE.....	124
<b>Gráfico 119</b>	
CURADO DEL SHOTCRETE CON CHORRO DE AGUA.....	125
<b>Gráfico 120</b>	
DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS PARA MEDICIÓN EN LOS TÚNELES DEL PROYECTO.....	126
<b>Gráfico 121</b>	
PROCESO DE EXTRACCIÓN Y MESA PARA CORTE DE TESTIGOS DE SHOTCRETE.....	127
<b>Gráfico 122</b>	
ENSAYO A LA COMPRESIÓN DE LOS NÚCLEOS EXTRAIDOS.....	128
<b>Gráfico 123</b>	
CURADO DE PANELES DE SHOTCRETE PARA ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA.....	129
<b>Gráfico 124</b>	
CORTE Y MEDICIÓN DE PANELES DE SHOTCRETE PARA ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA.....	129
<b>Gráfico 125</b>	
DIAGRAMA DE LA CARGA APLICADA AL PANEL DE PRUEBA.....	130
<b>Gráfico 126</b>	
EJECUCIÓN DE ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA.....	130
<b>Gráfico 127</b>	
ESTADO DEL PANEL DESPUES DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA.....	131
<b>Gráfico 128</b>	
GRÁFICAS OBTENIDAS EN EL ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA.....	131
<b>Gráfico 129</b>	
PLAN DE CONTROL DE CALIDAD – SOSTENIMIENTO CON PERNOS.....	133
<b>Gráfico 130</b>	
VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DEL PERNO HELICOIDAL.....	134
<b>Gráfico 131</b>	
ALMACENAMIENTO DE PERNOS HELICOIDALES.....	135
<b>Gráfico 132</b>	
ALMACENAMIENTO DE RESINAS.....	136
<b>Gráfico 133</b>	
PERFORACIÓN Y LAVADO DE TALADRO ANTES DE INSTALACIÓN DE PERNO.....	137
<b>Gráfico 134</b>	
MEDICIÓN DE TALADRO PERFORADO PARA INSTALACIÓN DE PERNO.....	137



<b>Gráfico 135</b>	
COLOCACIÓN DE CARTUCHOS DE RESINA.....	138
<b>Gráfico 136</b>	
INSTALACIÓN FINAL DE PERNO HELICOIDAL.....	139
<b>Gráfico 137</b>	
ESQUEMA DEL EQUIPO DE TENSADO.....	140
<b>Gráfico 138</b>	
COMPONENTES DEL EQUIPO DE TENSADO.....	140
<b>Gráfico 139</b>	
CÁLCULO DE CARGAS APLICADAS EN EL TENSADO DE PERNOS.....	141
<b>Gráfico 140</b>	
EJEMPLO DE GRÁFICA CARGA vs DESPLAZAMIENTO OBTENIDA DEL TENSADO.....	142
<b>Gráfico 141</b>	
PULL OUT TEST - ETAPAS DEL ENSAYO.....	143
<b>Gráfico 142</b>	
PLAN DE CONTROL DE CALIDAD – SOSTENIMIENTO CON CIMBRAS.....	144
<b>Gráfico 143</b>	
ALMACENAMIENTO DE CIMBRAS METÁLICAS.....	145
<b>Gráfico 144</b>	
USO DEL PUENTE GRÚA PARA LA INSTALACIÓN DE LAS CIMBRAS CIRCULARES.....	146
<b>Gráfico 145</b>	
UNIÓN DE LAS PARTES DE LA CIMBRA CIRCULAR.....	146
<b>Gráfico 146</b>	
ETAPA FINAL DE INSTALACIÓN DE LA CIMBRA CIRCULAR.....	147
<b>Gráfico 147</b>	
PLAN DE CONTROL DE CALIDAD – REVESTIMIENTO DEL PIQUE DE PRESIÓN.....	149
<b>Gráfico 148</b>	
ALMACENAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.....	150
<b>Gráfico 149</b>	
DETALLE DE ACERO DE REFUERZO EN ZONA DE TRANSICIÓN.....	151
<b>Gráfico 150</b>	
VERIFICACIÓN DEL PRE ARMADO DEL ACERO DE REFUERZO FUERA DEL PIQUE.....	151
<b>Gráfico 151</b>	
TRANSPORTE DE SEGMENTOS PRE ARMADOS Y DESCENDIDOS HACIA EL INTERIOR DEL PIQUE.....	152



<b>Gráfico 152</b>	
UNIÓN IN SITU DE LOS 04 SEGMENTOS PRE ARMADOS.....	152
<b>Gráfico 153</b>	
ZONA DE UNIÓN O EMPALME VERTICAL Y HORIZONTAL DEL ACERO DE REFUERZO.....	152
<b>Gráfico 154</b>	
DETALLE DE AMARRE DE ALAMBRE Y COLOCACIÓN DE DADOS DE CONCRETO PARA RECUBRIMIENTO.....	153
<b>Gráfico 155</b>	
COLOCACIÓN DE GUÍAS ANTES DEL VACIADO PARA POSTERIORES INYECCIONES.....	154
<b>Gráfico 156</b>	
COLOCACIÓN DE PROTECCIÓN TEMPORAL PARA MECHAS DE ACERO VERTICAL.....	154
<b>Gráfico 157</b>	
CONTROL TOPOGRÁFICO PREVIO Y DURANTE LA INSTALACIÓN DEL ENCOFRADO.....	155
<b>Gráfico 158</b>	
VERIFICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO.....	156
<b>Gráfico 159</b>	
DETALLE DE CONO Y ENCAJE ABATIBLE / CONO INSTALADO PREVIO AL VACIADO.....	156
<b>Gráfico 160</b>	
TRABAJOS DE ENCOFRADO Y DESENCOFRADO.....	157
<b>Gráfico 161</b>	
DISEÑO DE MEZCLA EMPLEADO PARA EL REVESTIMIENTO CON CONCRETO DEL PIQUE DE PRESIÓN.....	159
<b>Gráfico 162</b>	
CURVA GRANULONÉTRICA OBTENIDA DE LA ARENA EMPLEADA PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO.....	160
<b>Gráfico 163</b>	
CURVA GRANULONÉTRICA OBTENIDA DE LA PIEDRA EMPLEADA PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO.....	160
<b>Gráfico 164</b>	
RESULTADOS DEL ENSAYO – PESO UNITARIO Y VACÍO DE LOS AGREGADOS.....	161
<b>Gráfico 165</b>	
CONDICIONES DE HUMEDAD DEL AGREGADO.....	162
<b>Gráfico 166</b>	
RESULTADOS DEL ENSAYO – GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.....	162





<b>Gráfico 167</b>	
RESULTADOS DEL ENSAYO – GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.....	163
<b>Gráfico 168</b>	
RESULTADO DEL ENSAYO – TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL DE LA MEZCLA..	164
<b>Gráfico 169</b>	
RESULTADOS DEL ENSAYO – RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILÍNDRICOS.....	165
<b>Gráfico 170</b>	
PROCESO DE ENCAUSAMIENTO POR FILTRACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA...	166
<b>Gráfico 171</b>	
MEDIDA DEL ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA.....	168
<b>Gráfico 172</b>	
MEDIDA DE LA TEMPERATURA DE LA MEZCLA.....	168
<b>Gráfico 173</b>	
ENSAYO DE PESO UNITARIO DE LA MEZCLA.....	169
<b>Gráfico 174</b>	
MUESTREO DE PROBETAS PARA ENSAYO A COMPRESIÓN.....	169
<b>Gráfico 175</b>	
DESCARGA DE LA MEZCLA EN LA TOLVA DE LA BOMBA.....	171
<b>Gráfico 176</b>	
VACIADO DE CONCRETO.....	171
<b>Gráfico 177</b>	
VIBRADO DE LA MEZCLA COLOCADA.....	172
<b>Gráfico 178</b>	
TRATAMIENTO SUPERFICIAL – “CORTE VERDE” .....	173
<b>Gráfico 179</b>	
DETALLE DE BANDA HIDROEXPANSIVA EN JUNTA DE CONSTRUCCIÓN.....	173
<b>Gráfico 180</b>	
DIMENSIONES DE LA BANDA HIDROEXPANSIVA SIKASWELL® A.....	174
<b>Gráfico 181</b>	
ACCIÓN DE LA BANDA HIDROEXPANSIVA SIKASWELL® A.....	174
<b>Gráfico 182</b>	
INSTALACIÓN DE LA BANDA HIDROEXPANSIVA SIKASWELL® A.....	175
<b>Gráfico 183</b>	
COLOCACIÓN DE CAPA DE MORTERO PREVIO A LA MEZCLA DE CONCRETO...	176
<b>Gráfico 184</b>	
CURADO DEL CONCRETO CON CHORRO DE AGUA.....	184



<b>Gráfico 185</b>	
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PRENSA HIDRÁULICA.....	178
<b>Gráfico 186</b>	
CUADRILLA TRABAJANDO – VISTA DEL INTERIOR DEL PIQUE.....	180
<b>Gráfico 187</b>	
PLAN DE CONTROL DE CALIDAD – RESANE Y/O REPARACIONES DE CONCRETO EN ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS .....	180
<b>Gráfico 188</b>	
PRODUCTOS UTILIZADOS PARA EL RESANE Y/O REPARACIÓN.....	182
<b>Gráfico 189</b>	
ESQUEMA DE PREPARACIÓN Y CORRECCIÓN DE SUPERFICIE.....	183
<b>Gráfico 190</b>	
PROCESO DE RESANE O REPARACIÓN.....	185
<b>Gráfico 191</b>	
PROCESO CORRECCIÓN DE SUPERFICIE CON PRESENCIA DE BURBUJAS.....	187
<b>Gráfico 192</b>	
FLUJO DE AGUA POR LA PERFORACIÓN PILOTO DE Ø 12 1/4”.....	188
<b>Gráfico 193</b>	
SONDEO S11 – UBICACIÓN DE ZONAS DE FALLA (COTA 1360.00 Y 1410.00).....	189
<b>Gráfico 194</b>	
DISMINUCIÓN EN EL TIEMPO DEL CAUDAL DE AGUA REGISTRADO TRAS LA PERFORACIÓN DEL PILOTO EN EL PIQUE DE PRESIÓN.....	190
<b>Gráfico 195</b>	
OBSTRUCCIÓN PIQUE – ESCOMBROS EN PARTE BAJA.....	191
<b>Gráfico 196</b>	
RAISE BORER RE-PERFORANDO EL POZO OBSTRUIDO.....	191
<b>Gráfico 197</b>	
PRESENCIA DE FALLA ATRAVESANDO LA EXCAVACION.....	193
<b>Gráfico 198</b>	
ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA INICIAL PARA LA MEZCLA EMPLEADA EN EL REVESTIMIENTO.....	198
<b>Gráfico 199</b>	
INSPECCIÓN DE LA JUNTA FRÍA FORMADA.....	195
<b>Gráfico 200</b>	
INSPECCIÓN DE LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN.....	196
<b>Gráfico 201</b>	
ESQUEMA PROPUESTO PARA RECORRIDO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE LA MEZCLA.....	196
<b>Gráfico 202</b>	
TRATAMIENTO DE LA JUNTA FRÍA.....	197



<b>Gráfico 203</b>	
ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LOS PASANTES PARA POSTERIOR INYECCIÓN DE LA JUNTA FRÍA.....	198
<b>Gráfico 204</b>	
PASANTES DEJADOS PARA INYECCIONES UBICADOS SEGÚN ESQUEMA – PVC Y COBRE.....	198
<b>Gráfico 205</b>	
DETALLE DE LA DISPOSICIÓN DEL ACERO VERTICAL DEL ANILLO 4.....	199
<b>Gráfico 206</b>	
ACERO DE REFUERZO DOBLADO Y REFORZADO PARA EL TRAMO INDICADO.....	200
<b>Gráfico 207</b>	
ÍNDICE ESTABLECIDO PARA MEDIR EL DESEMPEÑO DE LA CALIDAD DEL PROYECTO.....	202
<b>Gráfico 208</b>	
GRÁFICOS OBTENIDOS DE LA EMISIÓN DE REPORTES DE OBSERVACIÓN Y NO CONFORMIDAD EN EL PIQUE DE PRESIÓN.....	202
<b>Gráfico 209</b>	
DISTINTOS PANORAMAS DEL DESEMPEÑO EN CALIDAD DE UN PROYECTO....	203
<b>Gráfico 210</b>	
ECUACIÓN RESISTENCIA MEDIA.....	205
<b>Gráfico 211</b>	
ECUACIÓN DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S).....	205
<b>Gráfico 212</b>	
EJEMPLO DE GRÁFICAS DE GAUSS Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....	205
<b>Gráfico 213</b>	
ECUACIÓN RANGO.....	206
<b>Gráfico 214</b>	
ECUACIÓN DESVIACIÓN ESTÁNDAR $S_1$ .....	207
<b>Gráfico 215</b>	
ECUACIÓN COEFICIENTE DE VARIACIÓN $V_1$ .....	207
<b>Gráfico 216</b>	
RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO ENDURECIDO ENSAYADAS.....	208
<b>Gráfico 217</b>	
RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO ENDURECIDO ENSAYADAS.....	209
<b>Gráfico 218</b>	
CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DE RESISTENCIA – NORMA ACI 318.....	209



<b>Gráfico 219</b>	
PROMEDIO DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN – 03 ENSAYOS CONSECUTIVOS (SEGÚN NORMA ACI 318).....	219
<b>Gráfico 220</b>	
PROMEDIO DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN – RESISTENCIA INDIVIDUAL (SEGÚN NORMA ACI 318).....	211
<b>Gráfico 221</b>	
SHOTCRETE EN CONJUNTO CON MALLAS METÁLICAS.....	219
<b>Gráfico 222</b>	
TERMINOLOGÍA MÁS POPULAR EN PAÍSES DE HABLA HISPANA.....	220
<b>Gráfico 223</b>	
EFFECTO DEL ADITIVO PLASTIFICANTE - DISPERSIÓN TEMPORAL DE LA MEZCLA.....	221
<b>Gráfico 224</b>	
EFFECTO DEL ADITIVO ACELERANTE - AUMENTO DE RESISTENCIAS A EDAD TEMPRANA.....	222
<b>Gráfico 225</b>	
ACCIÓN DE LAS FIBRAS ESTRUCTURALES EN EL CONTROL DEL AGRIETAMIENTO.....	223
<b>Gráfico 226</b>	
INSTALACIÓN MANUAL DE MALLA EN TÚNELES.....	223
<b>Gráfico 227</b>	
COMPARACIÓN - SHOTCRETE SIN FIBRAS Y CON MALLA / SHOTCRETE CON FIBRAS.....	224
<b>Gráfico 228</b>	
TIPOS DE FIBRAS ESTRUCTURALES.....	224
<b>Gráfico 229</b>	
SHOTCRETE POR VÍA HÚMEDA – ESQUEMA.....	225
<b>Gráfico 230</b>	
LANZADO CON EQUIPO ROBOTIZADO – VÍA HÚMEDA.....	226
<b>Gráfico 231</b>	
LANZADO CON EQUIPO CONTROLADO MANUALMENTE – VÍA HÚMEDA.....	226
<b>Gráfico 232</b>	
SHOTCRETE POR VÍA SECA – ESQUEMA.....	227
<b>Gráfico 233</b>	
LANZADO CON EQUIPO CONTROLADO MANUALMENTE – VÍA SECA.....	227
<b>Gráfico 234</b>	
CIMBRA RÍGIDA – DETALLE DE UNIÓN.....	229
<b>Gráfico 235</b>	
CIMBRA DESLIZANTE – DETALLE DE UNIÓN.....	230



<b>Gráfico 236</b>	
SOSTENIMIENTO CON CIMBRA – ESQUEMA GENERAL.....	231
<b>Gráfico 237</b>	
SOSTENIMIENTO CON PERNOS – EFECTO CUÑA.....	232
<b>Gráfico 238</b>	
SOSTENIMIENTO CON PERNOS – EFECTO VIGA.....	233
<b>Gráfico 239</b>	
TIPOS DE PERNOS DE SOSTENIMIENTO.....	233
<b>Gráfico 240</b>	
COMPONENTES DE UN PERNO HELICOIDAL.....	234
<b>Gráfico 241</b>	
ESTRUCTURA Y COMPONENTES DEL CARTUCHO DE RESINA.....	235
<b>Gráfico 242</b>	
PERNO MECÁNICO.....	236
<b>Gráfico 243</b>	
PERNO SWELLEX.....	236
<b>Gráfico 244</b>	
PERNO SPLIT SET.....	236
<b>Gráfico 245</b>	
SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN DE PLATAFORMAS DE TRABAJO Y ENCOFRADO CIRCULAR TREPANTE.....	237
<b>Gráfico 246</b>	
SISTEMA TREPANTE – PERFILES DE LA ESTRUCTURA.....	238
<b>Gráfico 247</b>	
SISTEMA TREPANTE – VISTA EN PLANTA DE UBICACIÓN DE CONOS DE ANCLAJE Y ENCAJE ABATIBLE.....	238
<b>Gráfico 248</b>	
SISTEMA TREPANTE – DETALLE DE CONOS DE ANCLAJE Y ENCAJE ABATIBLE.....	239
<b>Gráfico 249</b>	
SISTEMA TREPANTE – Rueda guía.....	239
<b>Gráfico 250</b>	
SISTEMA TREPANTE – Detalle de carro portapolea y polea.....	240
<b>Gráfico 251</b>	
VISTA EN PLANTA DE LOS 04 PANELES DEL ENCOFRADO.....	240
<b>Gráfico 252</b>	
DETALLE DE CONJUNTO RIOSTRA CURVA, VIGAS Y FENÓLICO.....	241
<b>Gráfico 253</b>	
TENSOR TR53.....	241



**Gráfico 254**

DETALLE DE CHAPA DE COMPENSACIÓN Y RIOSTRA DE ALINEACIÓN.....	242
---	-----

**Gráfico 255**

CANASTILLA PARA TRASLADO DE PERSONAL, MATERIALES Y EQUIPOS MENORES.....	242
--	-----

**Gráfico 256**

SOSTENIMIENTO TIPO “A” PROYECTADO PARA EL PIQUE DE PRESIÓN.....	244
---	-----

**Gráfico 257**

SOSTENIMIENTO TIPO “B” PROYECTADO PARA EL PIQUE DE PRESIÓN.....	246
---	-----

**Gráfico 258**

SOSTENIMIENTO TIPO “C” PROYECTADO PARA EL PIQUE DE PRESIÓN.....	248
---	-----

**Gráfico 259**

SOSTENIMIENTO TIPO “D” PROYECTADO PARA EL PIQUE DE PRESIÓN.....	250
---	-----





## **LISTADO DE TABLAS**

<b>Tabla 001</b>	
TÚNELES CONSTRUIDOS PARA EL PROYECTO.....	35
<b>Tabla 002</b>	
CARACTERÍSTICAS DE CARGA DE CADA TRAMO ANALIZADO.....	62
<b>Tabla 003</b>	
VARIABLES Y RESULTADOS PRINCIPALES DEL CÁLCULO ESTRUCTURAL.....	63
<b>Tabla 004</b>	
EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE LA CALIDAD.....	73
<b>Tabla 005</b>	
CONSIDERACIONES PARA LAS MEDICIONES DE CONVERGENCIA.....	90
<b>Tabla 006</b>	
EXCAVACIÓN: Resumen de Actividades de Control.....	90
<b>Tabla 007</b>	
LÍMITES DE LOS PORCENTAJES EN PESO PASANTE DEL AGREGADO FINO (NORMA ACI 506R_05).....	97
<b>Tabla 008</b>	
FACTOR DE CORRECCIÓN PARA CADA RELACIÓN L/D (ASTM C 42).....	127
<b>Tabla 009</b>	
REQUERIMIENTOS DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA – EFNARC 1996.....	129
<b>Tabla 010</b>	
SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE: Resumen de Actividades de Control.....	132
<b>Tabla 011</b>	
SOSTENIMIENTO CON PERNOS: Resumen de Actividades de Control.....	143
<b>Tabla 012</b>	
SOSTENIMIENTO CON CIMBRAS: Resumen de Actividades de Control.....	147



---

<b>Tabla 013</b>	
RESULTADOS A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO – DISEÑO DE MEZCLA.....	157
<b>Tabla 014</b>	
FACTOR DE CORRECCIÓN PARA CADA RELACIÓN L/D (ASTM C 39).....	177
<b>Tabla 015</b>	
PRODUCTOS UTILIZADOS PARA LAS PATOLOGÍAS ENCONTRADAS EN EL REVESTIMIENTO.....	181
<b>Tabla 016</b>	
CAUDAL DE AGUA REGISTRADO TRAS LA PERFORACIÓN DEL PILOTO EN EL PIQUE DE PRESIÓN.....	190
<b>Tabla 017</b>	
PLAZO Y COSTO GENERADO PARA SOLUCIONAR LA OBSTRUCCIÓN PRESENTADA.....	192
<b>Tabla 018</b>	
SOSTENIMIENTO PROYECTADO vs SOSTENIMIENTO REFORZADO PARA ZONAS DE FALLA.....	193
<b>Tabla 019</b>	
CUADRO COMPARATIVO OBSERVACIÓN vs NO CONFORMIDAD.....	201
<b>Tabla 020</b>	
GRADO DE CONTROL O CALIDAD DEL CONCRETO EN FUNCIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....	206
<b>Tabla 021</b>	
VALOR “ $d_2$ ” EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE PROBETAS COMPAÑERAS...	207
<b>Tabla 022</b>	
CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE CONTROL EN FUNCIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN $V_1$ .....	208
<b>Tabla 023</b>	
SHOTCRETE - DIFERENCIAS ENTRE MÉTODO VÍA SECA Y VÍA HÚMEDA...	224



## CAPITULO I: GENERALIDADES

### 1.1. INTRODUCCIÓN.

El concepto de Control de Calidad nace algún tiempo atrás en la industria manufacturera, con la finalidad de poder minimizar o evitar los trabajos de reparación, y garantizar la satisfacción del cliente. Es así que, el rubro de la construcción también acogió este concepto, ya que sirve de puente entre producción artesanal y tecnificada.

Cada obra tiene procesos y controles específicos, según los requerimientos establecidos. En el presente no existe una guía que estandarice el proceso constructivo y el control de calidad para una estructura como aquella en la que me tocó trabajar. Por ello, se pretende exponer la experiencia adquirida, para que este informe sirva de fuente de información adicional para el lector.

En esta tesis se describe el Control de Calidad del Revestimiento y el control de calidad específico ejecutado dentro de las distintas fases de la construcción del Pique de Presión, dentro de la Central Hidroeléctrica “Cerro del Águila”, en el departamento de Huancavelica. Actualmente esta central hidroeléctrica es la segunda más grande del país en potencia: 525 MW (En la actualidad, el Complejo Hidroeléctrico del Mantaro, ubicado también en el departamento Huancavelica, es el más grande del Perú, generando 1008 MW, éste complejo cuenta con 02 centrales hidroeléctricas en funcionamiento: C.H. Santiago Antúnez de Mayolo – 798 MW y C.H. Restitución – 210 MW).

El Pique construido, es la parte vertical del túnel de aducción de agua para la central, es una estructura vital dentro de la central hidroeléctrica “Cerro del Águila”; el mismo tiene 03 etapas de construcción bien definidas: **Excavación, Sostenimiento y Revestimiento**, además de una etapa de mejoramiento de la masa rocosa: Inyecciones con Lechada de cemento, y otra de mejoramiento del resultado de los vaciados: **Resane y Reparaciones**. Todas estas fases tuvieron su Plan de Control de Calidad definido, con el cual se buscó alcanzar y garantizar el cumplimiento de todas las especificaciones técnicas y contractuales en las que se regía el proyecto.

Para el desarrollo de esta Tesis, pude recolectar gran cantidad de información que sirvió como respaldo para garantizar la calidad de la construcción del pique de presión y de la central hidroeléctrica (documentos técnicos, experiencias, resultados de ensayos y registros fotográficos).



Es así que quise dividir esta Tesis en ocho (08) capítulos que resumo a continuación:

En el presente **Capítulo I – “Generalidades”**, se muestra la Justificación de esta Tesis, así como el Problema presentado, los Objetivos, la Hipótesis planteada y la Metodología empleada para realizar el análisis del problema y llegar a las conclusiones de este escrito.

En el **Capítulo II – “Descripciones generales y específicas de la obra y actividades”**, se realiza una descripción general del proyecto, así como una descripción detallada de la obra del Pique de Presión, además de describir las etapas principales de construcción del pique en mención.

En el **Capítulo III – “Normas y procedimientos de control de calidad”**, se presenta una breve descripción de los antecedentes del Control de Calidad y de la Normativa vigente, además se describen los procedimientos de control (planificación, controles y ensayos) ejecutados en las etapas de construcción del pique.

En el **Capítulo IV – “Lecciones aprendidas rescatadas del proceso constructivo específico”**, se exponen los principales eventos suscitados durante la construcción del pique, así mismo se presentan las soluciones tomadas para resarcir aquellas eventualidades.

En el **Capítulo V – “Resultados resumidos del control de calidad”**, se presenta el estatus de observaciones y reportes de no conformidad generados durante la etapa de construcción del pique de presión. Dentro de estos resultados, se presenta también el análisis estadístico de los resultados de ensayos de resistencia a la compresión del concreto producido en una planta central e incorporada en obra.

En el **Capítulo VI – “Conclusiones y recomendaciones finales”**, se relata el resumen elaborado por el tesista después del análisis y desarrollo de este informe.

En el **Capítulo VII – “Bibliografía”**, se mencionan las principales fuentes que fueron consultadas para la redacción de esta tesis.

En el **Capítulo VIII – “Anexos”**, se describen con más detalle los temas vinculados a los distintos procesos constructivos y de control ejecutados en la construcción del pique de presión.



## **1.2. JUSTIFICACIÓN.**

Las actividades en la construcción de las obras civiles necesariamente tienen que ser sometidas al seguimiento de un ente imparcial en forma de supervisión, para garantizar la calidad esperada de la obra.

La calidad de los trabajos realizados en la construcción de la obra se verifica basándose en estándares nacionales e internacionales, así como políticas y sistemas de gestión que deben ser cumplidos.

El control de calidad de esta obra se convierte en un concepto de vital importancia para el cumplimiento de los requerimientos contractuales y calidad funcional de la estructura ejecutada (producto final).

## **1.3. PROBLEMA.**

Los procesos y tecnologías específicas de cada obra en particular, como lo es la construcción y el revestimiento de concreto armado del pique de presión, conllevan riesgos que deben ser evaluados con anticipación y buen juicio por parte de la línea de mando y personal operativo involucrado en la actividad.

Estas evaluaciones no deben solo ser basadas en la experiencia, y es así que, por diversas razones (tiempo, costo), en la mayoría de los casos se omite o no se contempla una etapa de pruebas previas que orienten como se presentarán las operaciones a realizar in situ, y que permita detectar anticipadamente los posibles problemas durante la ejecución.

No se toma en cuenta que cada proyecto, proceso y metodología empleada son expuestas a sorpresas que pueden generar retrasos en plazo y pérdidas económicas, parámetros vitales para un proyecto civil.

## **1.4. OBJETIVOS.**

### **1.4.1. Objetivo General:**

Dar a conocer el impacto positivo del Control de Calidad aplicado durante la construcción del Revestimiento del Pique de Presión, así como la evaluación estadística de los resultados de los ensayos de resistencia al concreto empleado para este fin.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos:**

- Describir el proceso constructivo específico y controles desarrollados para la construcción del pique de presión (excavación, sostenimiento, revestimiento y resane de la estructura).
- Describir el concepto del control de calidad en el rubro de la construcción.
- Dar a conocer el Plan de Control de Calidad (controles, ensayos) aplicado durante las distintas etapas de construcción del Pique de Presión.
- Describir los inconvenientes presentados en algunas de las etapas de construcción y las soluciones tomadas.
- Resaltar la importancia de la implementación de controles para minimizar o evitar los costos de acciones correctivas.
- Formular recomendaciones con fines de retroalimentación de los procesos de control, y de ser el caso, proponer correcciones del plan original aplicado.

#### **1.5. HIPÓTESIS.**

Una adecuada y rigurosa planificación y ejecución del control de calidad en una obra, representan una herramienta básica que garantiza el cumplimiento de los compromisos contractuales a cabalidad, además de representar la mejor forma posible de evitar costosas reparaciones al evidenciarse las eventuales deficiencias al inicio de operación.

#### **1.6. METODOLOGÍA.**

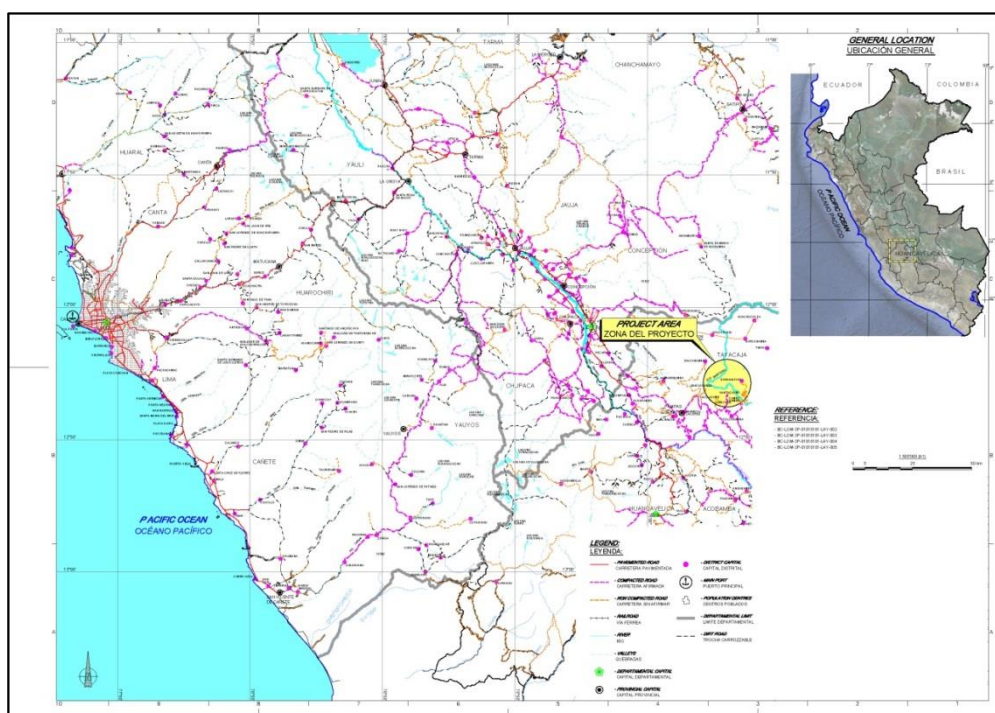
Consistió en la recopilación de la información referente a los resultados de faenas de control, realizadas durante la construcción de la estructura hidráulica denominada: Pique de Presión. Estos datos se procesaron estadísticamente (específicamente los de ensayos a compresión de las muestras de concreto empleado para el Revestimiento del Pique). Los resultados de los ensayos estadísticamente procesados, se compararon con los parámetros normados para verificar la bondad de material. Por último, se redactaron las recomendaciones que serán de índole general en concordancia de la normatividad técnica y aplicables para obras semejantes.

## **CAPITULO II: DESCRIPCIONES GENERALES Y ESPECÍFICAS DE LA OBRA Y ACTIVIDADES**

### **2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO: “CENTRAL HIDROELÉCTRICA CERRO DEL ÁGUILA 525 MW”.**

#### **2.1.1. Ubicación:**

El Proyecto Hidroeléctrico “Cerro del Águila” se encuentra en los distritos de Surcubamba (Casa de Máquinas: 1278.00 msnm) y Colcabamba (Presa: en la cota del cauce de menos que 1546.00 msnm), provincia de Tayacaja, departamento de Huancavelica – Perú.

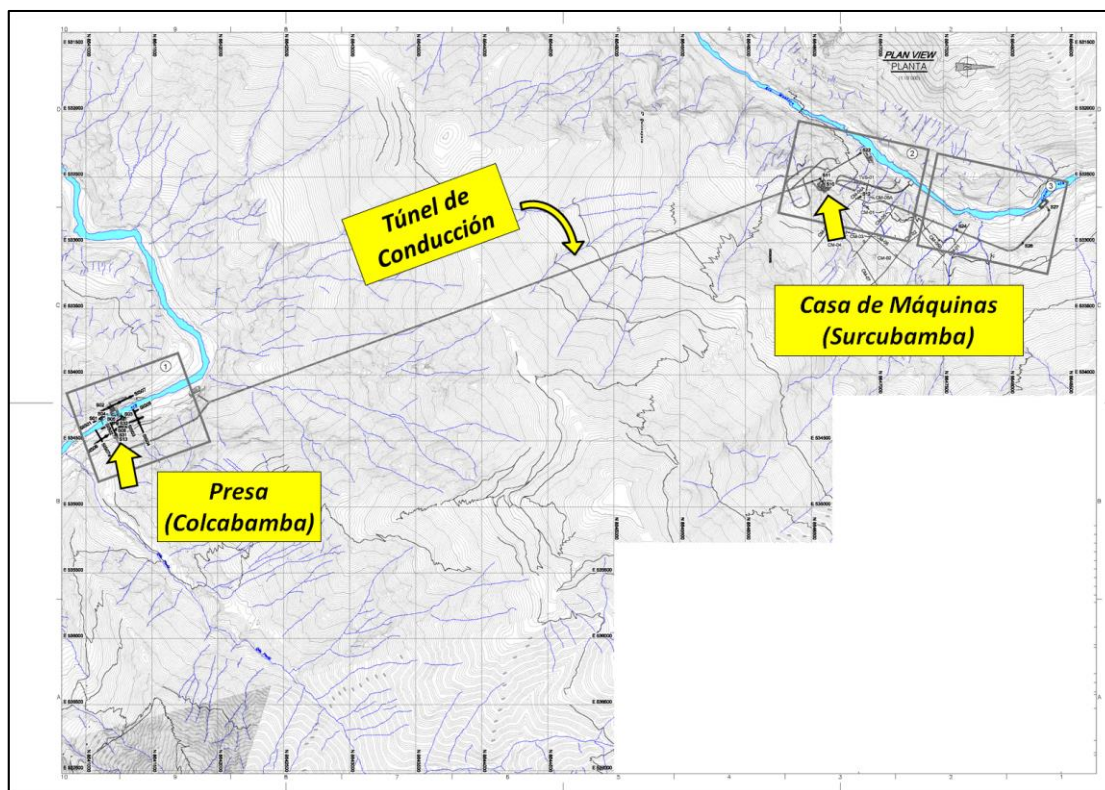


**GRÁFICO 001**

#### **UBICACIÓN DEL PROYECTO – MAPA GENERAL**

(Fuente: Plano BC-LOM-3P-01010101-LAY-001-B0 – Mapa de ubicación general  
CH Cerro del Águila)





**GRÁFICO 002**

**UBICACIÓN DEL PROYECTO – VISTA EN PLANTA**

(Fuente: Plano BC-LOM-3P-01010101-PIT-008-B0 – Investigaciones geológicas)

**2.1.2. Aspectos generales:**

El Proyecto Hidroeléctrico Cerro del Águila es propiedad de la compañía IC Power, representante en el Perú del grupo Israel Corp.

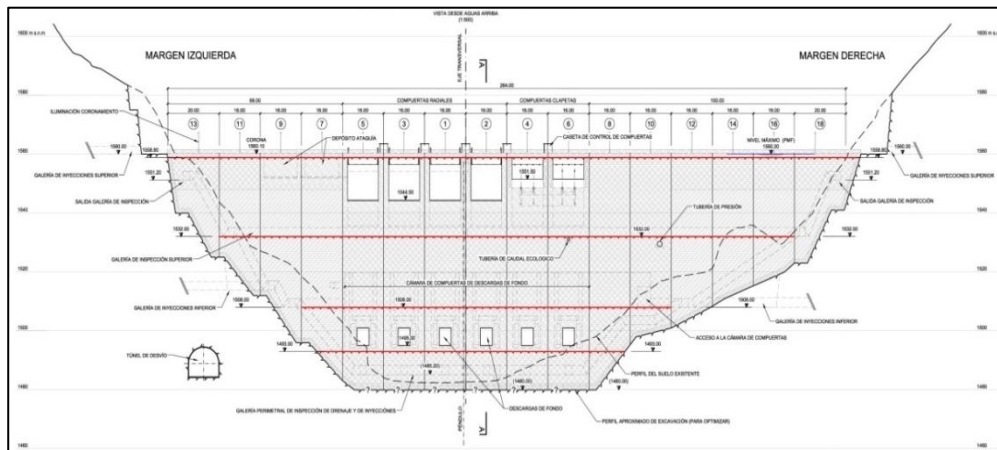
Esta central tiene como fuente hídrica al río Mantaro y una potencia de 525 MW.

El agua es embalsada mediante la Presa de gravedad construida en el lecho del río Mantaro (1556.00 msnm / Colcabamba – Tayacaja – Huancavelica), luego es captada por la obra de toma y transportada por el túnel de conducción (5.738 km.), para luego bajar por el Pique de Presión vertical (238.65 m.) y tubería forzada horizontal de 154.51 m. de longitud, con dirección hacia la Caverna de Máquinas subterránea (1278.00 msnm), lo cual permite el funcionamiento de las 03 Turbinas Francis que acopladas a los generadores generan una potencia máxima de 3 x 175 MW; el agua que entregó buena parte de su potencia hidráulica a las turbinas, es evacuada por el túnel de descarga de apreciable longitud de 1.891 km. al cauce del río nuevamente (más de 278 m. más abajo) a través de una rampa disipadora y un azud de restitución (Surcubamba – Tayacaja – Huancavelica).



### **PRESA:**

- Influencia de remanso causado por embalse: 11 km.
- Capacidad de embalse: 12 millones de m<sup>3</sup>.
- Tipo: De gravedad.
- Altura: 80 m.
- Longitud de cresta: 264 m.
- Ancho de base: 62 m.
- Volumen de concreto: 446,000 m<sup>3</sup>.
- Nivel de corona: 1560.10 msnm.
- Nivel máximo de operación: 1556.00 msnm.
- Nivel mínimo de operación: 1546.00 msnm.



**GRÁFICO 003**

**VISTA DEL CUERPO DE LA PRESA CDA – PERFIL LONGITUDINAL**  
(Fuente: Plano PE-LOM-50-09030101-PGC-010-R1 – Proyecto Ejecutivo Presa)



**GRÁFICO 004**

**PRESA CDA EN FUNCIONAMIENTO**  
(Fuente: Ezio Macchione Photography)

**TÚNELES:**

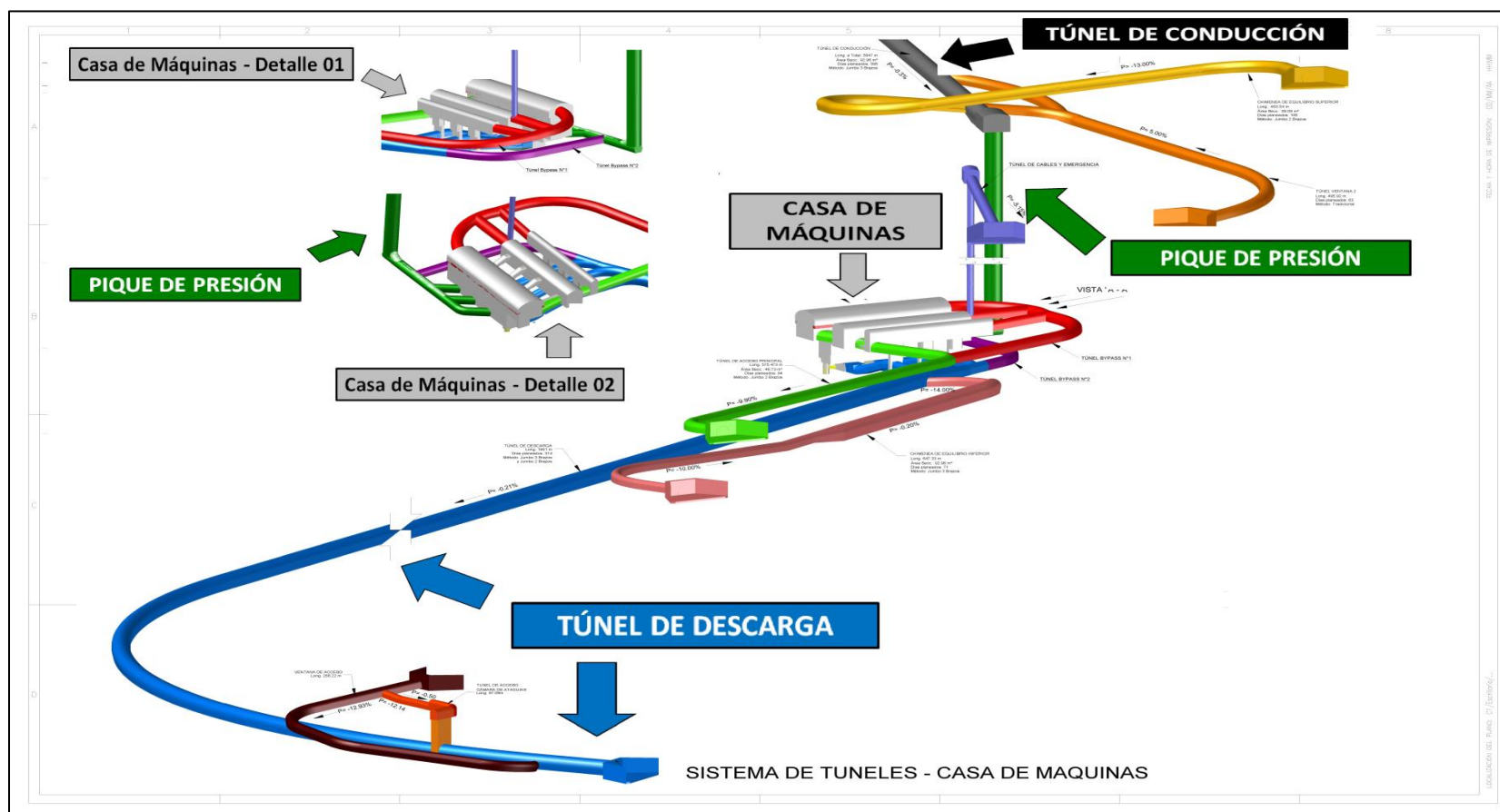
Un túnel es una excavación subterránea horizontal, con inclinación o vertical realizado con la finalidad de atravesar un estrato para tener acceso de un punto a otro. A un túnel vertical se le denomina Pique o Pozo, a un túnel que sirve de acceso desde la superficie hacia la obra subterránea se le denomina Ventana, a un túnel que sirve para el paso de cables, tuberías, etc a través de él se le denomina Galería.<sup>1</sup>

Para el proyecto se construyeron 16 túneles, clasificados en túneles hidráulicos y no hidráulicos.

ITEM	TÚNELES	TIPO	LONGITUD (m)	SECCIÓN (m2)	VOLUMEN EXCAVADO (m3)
1	Ventana 01	No hidráulico	95.30	46.73	4,453.37
2	Ventana 02	No hidráulico	445.10	46.73	20,799.52
3	Conducción	Hidráulico	5,738.00	92.96	533,404.48
4	Chimenea de Equilibrio Superior	Hidráulico	483.54	59.26	28,654.58
5	Pique de Presión	Hidráulico	238.65	78.54	18,743.53
6	De Cables	No hidráulico	166.23	32.64	5,425.75
7	Pozo de Cables	No hidráulico	192.46	12.57	2,418.52
8	Acceso Principal	No hidráulico	600.97	46.73	28,083.33
9	By Pass 01	No hidráulico	301.06	46.73	14,068.53
10	Alta presión	Hidráulico	154.51	variable	7,836.69
11	Draft tubes (03 unidades)	Hidráulico	295.07	variable	14,250.59
12	By Pass 02	Hidráulico	112.75	35.25	3,974.44
13	Chimenea de Equilibrio Inferior	Hidráulico	642.18	variable	35,497.73
14	Ventana de Acceso a Descarga	No hidráulico	264.53	35.25	9,324.68
15	Acceso a cámara de ataguías	No hidráulico	84.85	variable	2,355.76
16	De Descarga	Hidráulico	1,891.12	93.68	177,160.12
			<b>11,706.32</b>		<b>906,451.63</b>

**TABLA 001**  
**TÚNELES CONSTRUIDOS PARA EL PROYECTO**  
(Fuente: Propia)

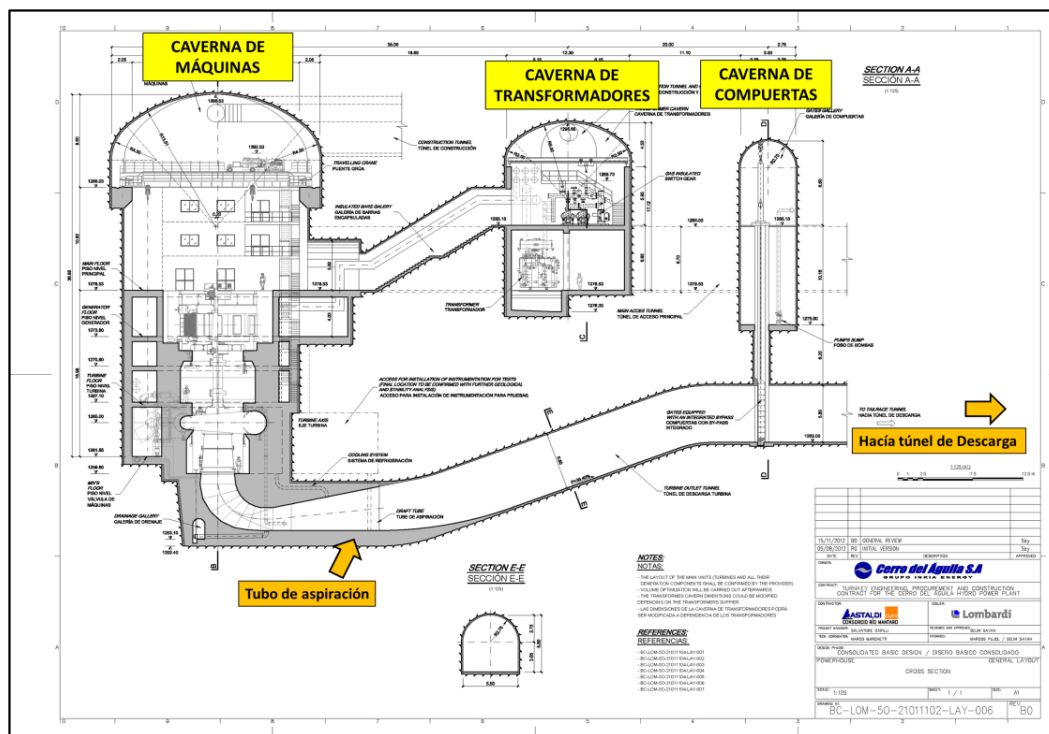
<sup>1</sup> I. Navarro, S., Ortiz, R., Ruiz, J. – “Geotecnia aplicada a la construcción de túneles” (2014).



**GRÁFICO 005**  
**SISTEMA DE TÚNELES – VISTA ISOMÉTRICA**  
(Fuente: Plano CRO-0084-R5 – Sistema de túneles CH Cerro de Águila)

## CAVERNAS DE MÁQUINAS, TRANSFORMADORES Y COMPUERTAS:

En la siguiente gráfica se visualiza el detalle de las cavernas que conforman la Casa de máquinas de la C.H. Cerro del Águila:



**GRÁFICO 006**

### VISTA TRANSVERSAL DE LAS CAVERNA DE MÁQUINAS, DE TRANSFORMADORES Y DE COMPUERTAS

(Fuente: Plano BC-LOM-50-21011102-LAY-006-B0 – Diseño Básico Casa de Máquinas)

### CAVERNA DE MÁQUINAS

En esta caverna se encuentran las 03 turbinas Francis de eje vertical que permiten la generación de la energía eléctrica. La caverna de máquinas subterránea está construida de concreto armado y consta de 05 niveles, en la parte superior (por encima del nivel de las turbinas y generadores) se encuentra la sala de operaciones de la central.

Las dimensiones de esta caverna son:

- Largo: 86.50 m.
- Ancho: 21.10 m.
- Altura: 46.28 m.





**GRÁFICO 007**  
**CAVERNA DE MÁQUINAS EN FUNCIONAMIENTO**  
(Vista desde la sala de operaciones, por encima de nivel de turbinas y generadores)  
(Fuente: Propia)

### **CAVERNA DE TRANSFORMADORES Y SUBESTACIÓN**

Consta de 02 niveles, en el primero se ubican 09 transformadores y en el segundo nivel se encuentra la subestación encapsulada con aislamiento en gas (SF<sub>6</sub>) o sala GIS (Gas Insulated Switchgear = Patio de llaves aislado con gases).

Sus dimensiones son:

- Largo: 80.60 m.
- Ancho: 12.60 m.
- Altura: 20.47 m.



**GRÁFICO 008**  
**CAVERNA DE TRANSFORMADORES EN FUNCIONAMIENTO**  
(Izquierda: Transformadores instalados en sus respectivas cabinas / Derecha: Sala GIS)  
(Fuente: Propia)

### **CAVERNA DE COMPUERTAS**

Consta de 01 nivel, dentro del cual se ubican los 03 pozos de las compuertas de descarga de cada turbina. Estas compuertas permiten aislar desde aguas abajo el espacio de la turbina cuando se requiere hacer inspección y mantenimiento.

Sus dimensiones son:

- Largo: 78.10 m.
- Ancho: 5.80 m.
- Altura: 32.33 m.



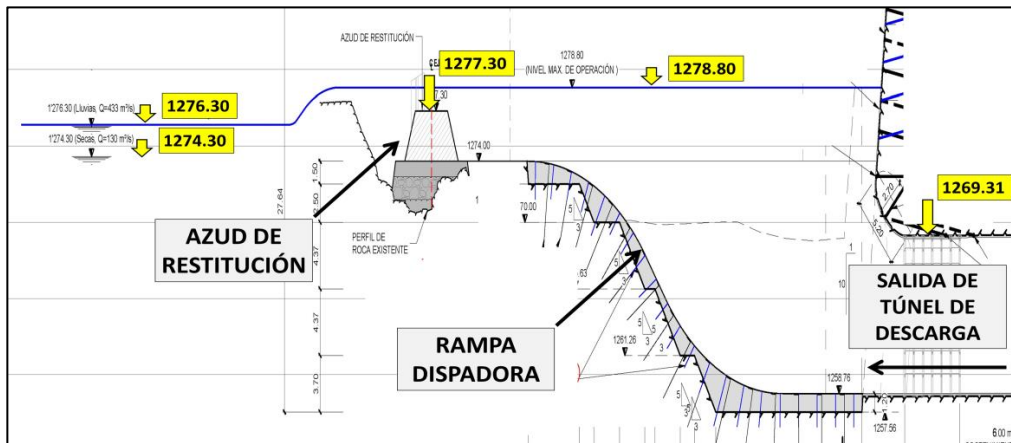
**GRÁFICO 009**

### **CAVERNA DE COMPUERTAS EN FUNCIONAMIENTO**

(Fuente: Propia)

### **OBRA DE RESTITUCIÓN:**

Está ubicada en la salida del túnel de descarga, su función es reincorporar en condiciones controladas el agua que pasó a través de la central a la parte baja del cauce del río Mantaro. Ésta restitución del caudal se realiza a través de una rampa disipadora y un azud de restitución (que permite entrega de agua al cauce natural del río sin mayores interferencias).



**GRÁFICO 010**  
**PERFIL LONGITUDINAL DE SALIDA DE TÚNEL DE DESCARGA,**  
**RAMPA DISIPADORA Y AZUD DE RESTITUCIÓN**  
(Fuente: Propia)

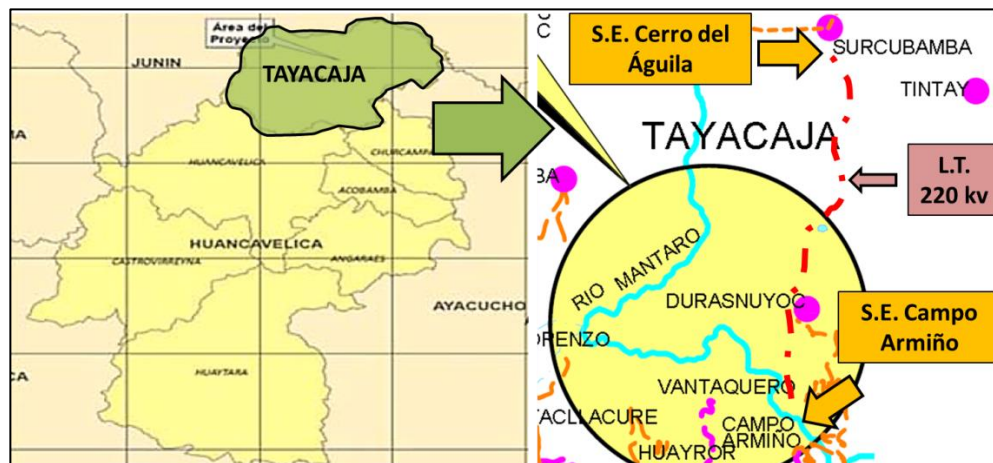


**GRÁFICO 011**  
**RAMPA DISIPADORA Y AZUD DE RESTITUCIÓN EN**  
**FUNCIONAMIENTO**  
(Fuente: Propia)

### PATIO DE LLAVES Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN:

La tensión de energía eléctrica a la salida de generadores es de 13,800 V. Con esa tensión la energía se conduce a corta distancia hacia los transformadores donde se eleva la tensión a 220,000 V para conectarse al SEIN (Sistema Eléctrico Interconectado Nacional) a través de una Línea de Transmisión de 220 kV, de doble terna, de 15.80 km de longitud, la cual enlazará la Subestación Cerro del Águila (Surcubamba) y la Subestación Campo Armiño (Campo Armiño).





**GRÁFICO 012**  
**UBICACIÓN DE LÍNEA DE TRANSMISIÓN Y SUB ESTACIONES DEL PROYECTO**

(Fuente: Osinergmin)

La conexión entre la sala GIS y el patio de llaves (donde se ubica el pórtico de salida de la línea de transmisión) se da mediante cables de energía de 220 kV a lo largo del pique vertical (pique de cables) y túnel horizontal (túnel de cables).

La central hidroeléctrica Cerro del Águila, aporta hasta el 6% expresado en la potencia de demanda nacional al SEIN (beneficiados Huancavelica, Junín, Lima).



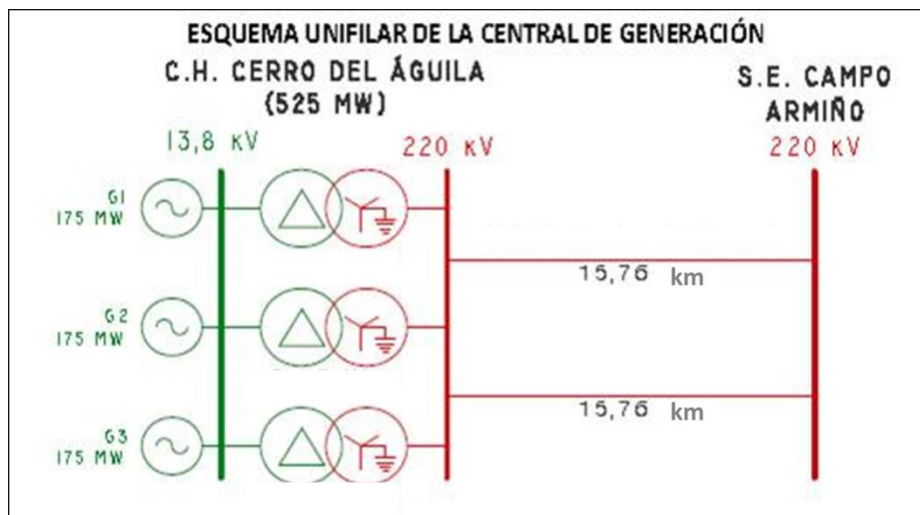
**GRÁFICO 013**  
**SUB ESTACIONES CONECTADAS PARA EL PROYECTO**  
**Izquierda: S.E. Cerro del Águila / Derecha: S.E. Campo Armiño**

(Fuente: Osinergmin)

### **AMPLIACIÓN DE SUBESTACIÓN CAMPO ARMIÑO:**

Ampliación de la SE Campo Armiño 220 kV ya existente, con una prolongación del sistema de doble barra 220 kV y con la implementación de la llegada de la LT 220 kV Cerro del Águila – Campo Armiño.



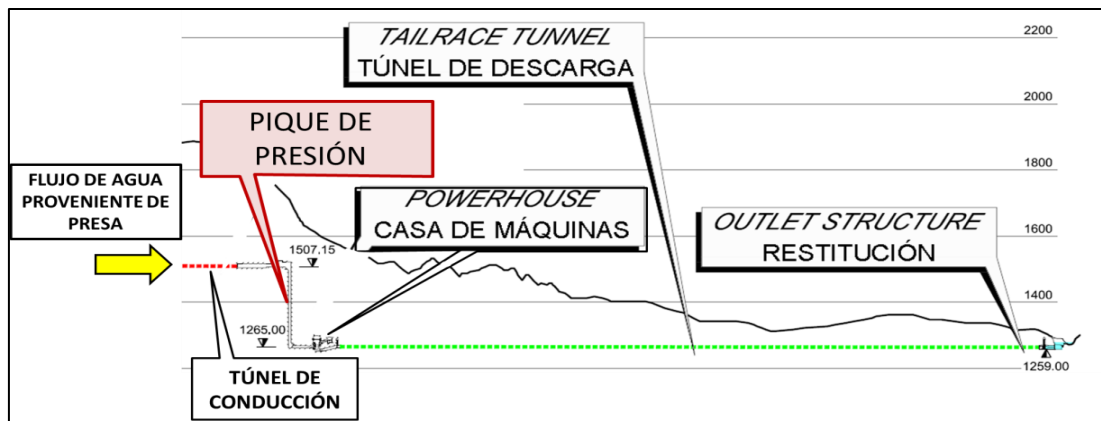


**GRÁFICO 014**  
**ESQUEMA ELECTRICO DE LA C.H. CERRO DEL ÁGUILA**  
(Fuente: Osinergmin – Julio 2017)

### 2.1.3. Datos técnicos de la central hidroeléctrica:

- Recurso hídrico: Río Mantaro.
- Cuenca: Cuenca hidrográfica del Mantaro, aguas abajo del reservorio Tablachaca (~ 2600 msnm).
- Tipo de central: De embalse.
- Casa de máquinas: Subterránea.
- Potencia: 525 MW.
- Cantidad de unidades de generación: 03 unidades.
- Tipo de turbina: Francis (eje vertical).
- Tensión nominal por cada turbina: 13.8 kv.
- Potencia nominal por cada turbina: 175 MW (cada unidad contará con transformador de potencia elevador de 13.8 kV a 220kV).
- Salto neto: 265.10 m.
- Caudal en turbinas: 70.17 m<sup>3</sup>/seg

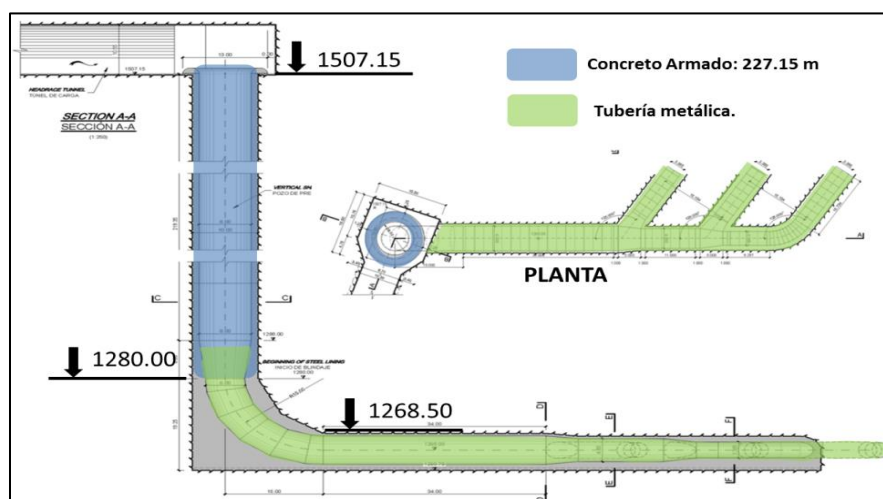
## 2.2. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA: PIQUE DE PRESIÓN.



**GRÁFICO 015**  
**UBICACIÓN DEL PIQUE DE PRESIÓN DENTRO DEL PROYECTO**  
(Fuente: Plano BC-LOM-3P-01010101-LAY-005-B0 – Flujo del agua)

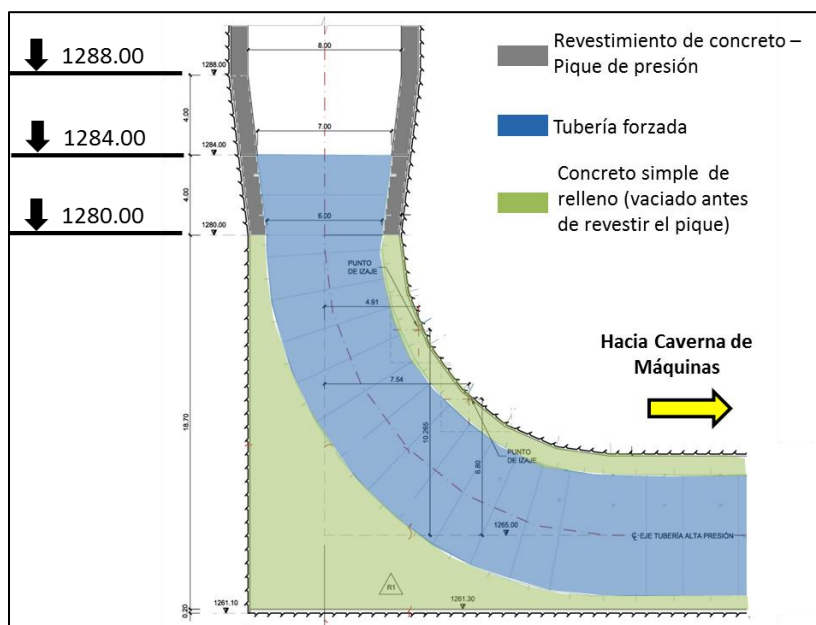
El pique de presión del proyecto hidroeléctrico Cerro del Águila comprende la excavación de un pozo vertical de 238.65 m de altura (entre las cotas 1507.15 y 1268.50 msnm), ubicado en la parte final del túnel de conducción, que lleva a través de él, el agua transportada desde la Presa, hacia las 03 turbinas ubicadas dentro de la Caverna de Máquinas.

La altura total del revestimiento (concreto armado de 1.00 m. de espesor) del pique de presión es de 227.15 m, desde la cota 1507.15 hasta la cota 1280.00 msnm.



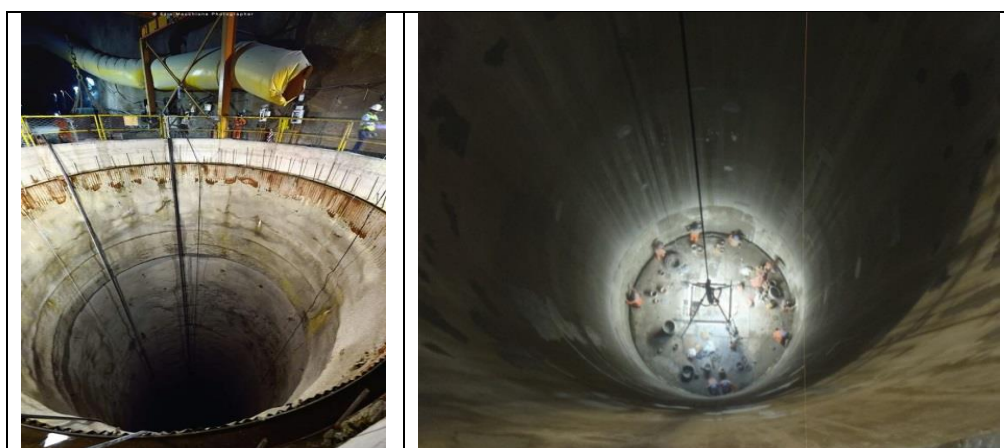
**GRÁFICO 016**  
**VISTA DE ELEVACIÓN Y PLANTA DEL TRAZO DEL PIQUE**  
**(Desde el Túnel de Conducción hasta encuentro con turbinas)**  
(Fuente: Plano BC-LOM-5O-17050101-LAY-001-B0 – Diseño Básico Pique de Presión)

Entre las cotas 1507.15 y 1288.00 msnm el pique presenta un diámetro interior de 8.00 m. Entre las cotas 1288.00 y 1280.00 msnm el revestimiento presenta una transición de diámetro, que disminuye de 8.00 a 6.00 m. Ésta transición permite acoplar el revestimiento de concreto armado con el blindaje metálico (en la cota 1284.00 msnm) que llega hasta la Caverna de Máquinas.



**GRÁFICO 017**  
**TRANSICIÓN ENTRE EL CONCRETO ARMADO Y BLINDAJE METÁLICO**

(Fuente: Plano PE-LOM-50-17010902-PGC-003-R1 – Secciones Túnel Alta Presión)

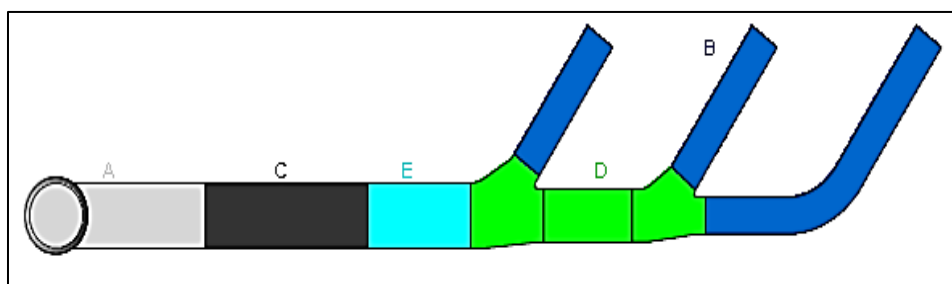


**GRÁFICO 018**  
**VISTA DE LA BOCA DEL PIQUE Y DE LAS SECCIONES INTERIORES DENTRO DEL MISMO**

(Fuente: Ezio Macchione Photography / Propia)

Este blindaje metálico horizontal, que inicia en la parte final del pique vertical, cuenta con 03 ramales que ingresan a la caverna de máquinas a través de su unión con las válvulas que controlan el flujo de agua que pasa por las turbinas. Este blindaje metálico cuenta con un diámetro variable:

- Un tramo inicial de  $\phi$  7000/6000 mm de unión con la parte en concreto (A);
- Una curva de  $90^\circ$  de  $\phi$  6000 mm (A);
- Un tramo recto de  $\phi$  6000 mm (C, E);
- Una bifurcación de  $\phi$  6000/4800/3385 mm (D);
- Un tramo recto de  $\phi$  4800 mm (D);
- Una bifurcación de  $\phi$  4800/3385/3385 mm (D);
- Tres ramales de  $\phi$  3385 mm (B).



**GRÁFICO 019**  
**VISTA EN PLANTA DEL TRAMO DE TUBERÍA FORZADA**  
(Fuente: Croquis Túnel Alta Presión)

## 2.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA EL PIQUE DE PRESIÓN.

### 2.3.1. Descripción del proceso de excavación:

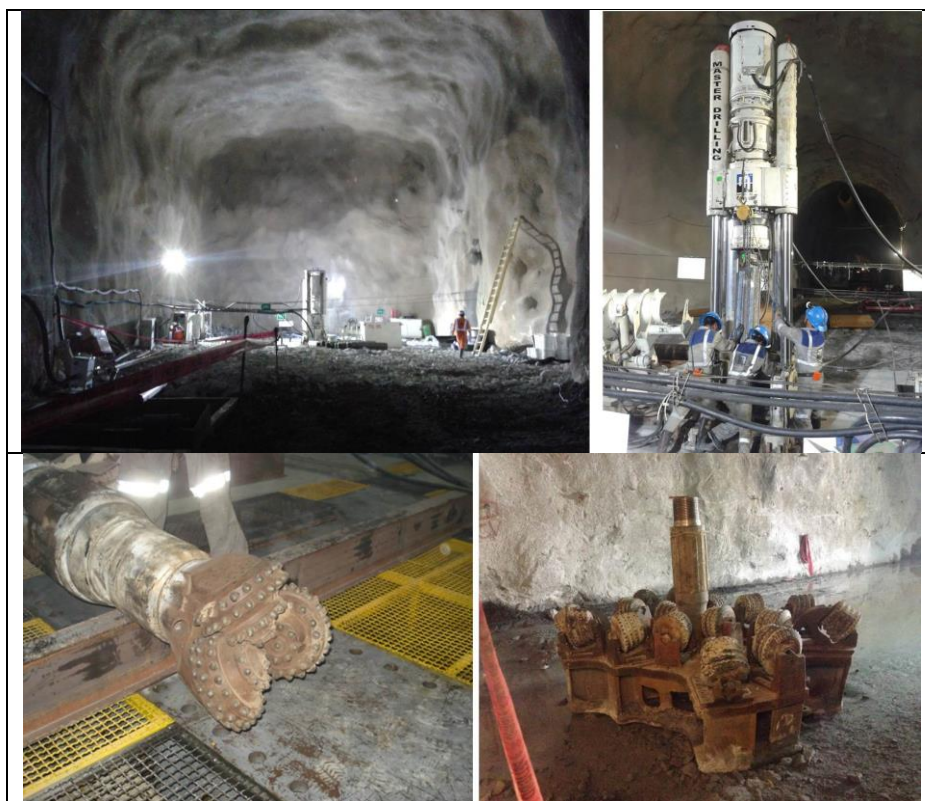
La longitud total de la excavación del pique de presión fue de 238.65 m. (desde la cota 1507.15 hasta la cota 1268.50 msnm), y presentó dos fases de construcción:

- **Primera Fase:** Construcción de un túnel piloto (cavidad) vertical de 3.10 m. de diámetro.
- **Segunda Fase:** La ampliación del diámetro del túnel piloto de 3.10 m. al diámetro de 10.00 m., aplicando el método de voladura controlada (uso de explosivos).

#### 2.3.1.1. Primera Fase / uso de sistema Raise Borer:

**Equipos principales utilizados en esta fase:**

- Equipo de perforación Raise Borer 71-Robbins.
- Cargador frontal de 5.5 yardas<sup>3</sup> (4.25 m<sup>3</sup>).
- Volquetes 15m<sup>3</sup>.



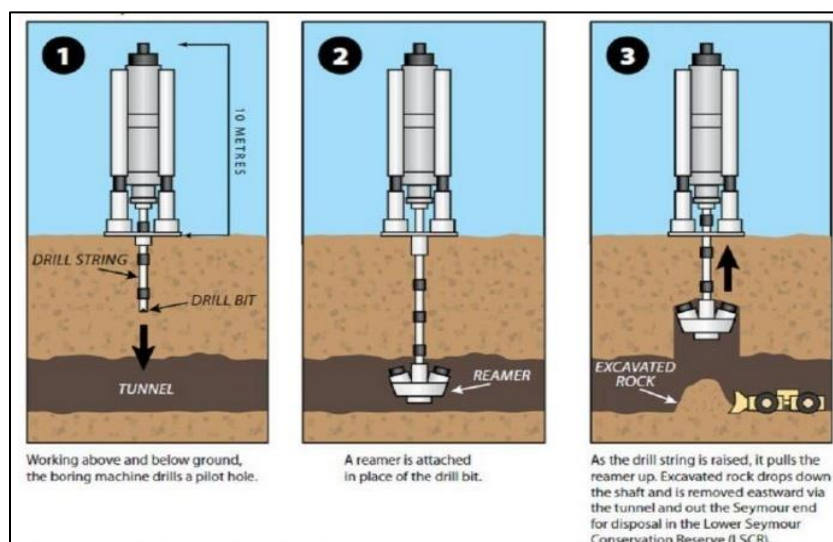
**GRÁFICO 020**  
**EQUIPO DE PERFORACIÓN “RAISE BORER 71 ROBBINS”**  
(Arriba: Equipo instalado / Inferior izquierda: Brocas tricono / Inferior derecha: Brocas del escariador)  
(Fuente: Propia)

La primera fase se realizó utilizando la máquina de perforaciones verticales (Raise Borer 71-Robbins), propulsada por motor eléctrico con sistema hidráulico de presión. La máquina tiene eje rotativo con brocas tricono instaladas en extremo inferior, que avanzan empujadas por el sistema hidráulico.

El sistema Raise Borer empleado en esta fase, realiza dos operaciones:

- La perforación de un túnel **piloto** de 12 1/4“ de diámetro, empleando una broca tricono. La perforación se realizó desde la parte superior del pique, hasta la corona o techo de un túnel ya excavado en la parte baja (próximo a la caverna de máquinas). Esta primera perforación permite estabilizar la dirección del posterior rimado ascendente.
- El posterior **ensanche del piloto**, se realiza empleando un escariador de 3.10 m. de diámetro. Después de la llegada de la broca tricono al nivel límite inferior, al eje de la máquina se acopla el escarificador permitiendo realizar la excavación ascendente por corte y cizalla (rimado), y así obtener el diámetro de 3.10 m.





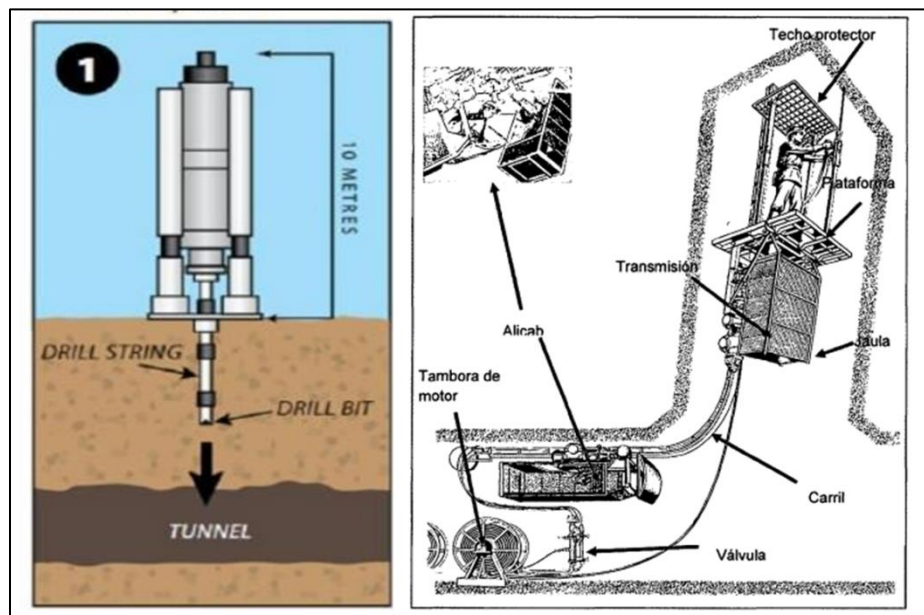
**GRÁFICO 021**

**PROCESO DE PERFORACIÓN CON SISTEMA RAISE BORER**

(Fuente: [www.3maggregates.com](http://www.3maggregates.com))

Como opinión personal a la elección de este sistema de perforación (Raise Borer) para la excavación del pique de presión, puedo resaltar que:

- El sistema brinda un rendimiento mayor en comparación con otro sistema mecanizado o en comparación con el sistema de excavación convencional (voladura con explosivos), además permite eliminar las sobre excavaciones. Para el proyecto, el sistema raise borer fue empleado durante 48 días (238.65 metros lineales).
- Si bien es cierto, el sistema empleado es costoso en comparación con otro sistema mecanizado, como por ejemplo el uso de equipo Alimak (el doble en costo), el sistema raise borer disminuye considerablemente el tiempo producción (ensamblaje de equipo y perforación del pozo), ya que se instala en la posición requerida y solo se necesita añadir barrenos para la perforación hasta el fin de la actividad. En cambio el sistema Alimak se basa en la perforación manual (a través de personal operativo) y de la constante instalación de sistema de rieles trepantes para su transporte dentro del pique.



**GRÁFICO 022**

**SISTEMA RAISE BORER vs SISTEMA ALIMAK**

**Izquierda: Máquina Raise Borer instalada / Derecha: Equipo trepante Alimak**

(Fuente: [www.3maggregates.com](http://www.3maggregates.com))

- Otras de las ventajas que aportaron a la elección del empleo de este sistema es que se presenta como una tecnología muy segura, no contaminante y de calidad en el desarrollo de su servicio, ya que todo el proceso se realiza mediante comandos sistematizados.



Equipo de perforación instalado en la parte superior para iniciar la perforación del Pique.



Comunicación de la perforación piloto en la parte inferior del Pique ( $\varnothing$  12 1/4"). Posterior instalación del escariador ( $\varnothing$  3.10 m).



Perforación ascendente con el escariador.



Desmante generado durante la perforación ascendente.

**GRÁFICO 023**  
**OPERACIÓN DEL SISTEMA RAISE BORER**  
(Fuente: Propia)



### **2.3.1.2. Segunda Fase / Ampliación de diámetro de excavación:**

#### **Equipos principales utilizados en esta fase:**

- Perforadora neumática manual Jack Leg.
- Excavadora tipo “araña” (Retro araña)
- Puente grúa con carros de 5 y 25 toneladas (ubicado en la parte superior del pique y que permitió el traslado de los distintos equipos, materiales, herramientas y personal involucrado en la construcción del pique).



**GRÁFICO 024**  
**PERFORADORA NEUMÁTICA MANUAL – JACK LEG**  
(Fuente: Propia)



**GRÁFICO 025**  
**EXCAVADORA TIPO “ARAÑA” – RETRO ARAÑA**  
(Fuente: Propia)



**GRÁFICO 026**  
**PUENTE GRÚA CON CARROS DE 5 Y 25 TONELADAS UBICADO EN**  
**LA PARTE SUPERIOR DEL PIQUE**  
(Fuente: Propia)

En esta segunda fase, la ampliación del diámetro de 3.10 m. a 10.00 m., se realizó mediante trabajos de perforación, voladura y sostenimiento de la superficie rocosa obtenida del proceso de excavación. Durante toda esta fase se empleó como complemento de trabajo y seguridad, un tapón metálico que cubriera la perforación piloto.



**GRÁFICO 027**  
**TAPÓN METÁLICO PARA CUBRIR PERFORACIÓN PILOTO**  
**EJECUTADA**  
(Fuente: Propia)

En resumen, el ciclo de trabajo en esta fase se presentó de la siguiente manera:

- El personal de topografía marca en la roca el frente de avance o malla de voladura (puntos para perforación de taladros en la roca).

- Se perforan estos taladros, usando en nuestro caso las perforadoras neumáticas manuales (jackleg).
- Se realiza el carguío de los cartuchos de explosivos de manera manual en los taladros ejecutados.
- Se realiza la voladura (detonación) y consecuente ventilación de los gases producidos.
- La limpieza del escombros se inicia con el desatado manual de bloques de roca sueltos, utilizando barretas metálicas.
- Se realiza la evacuación de la roca desintegrada utilizando una excavadora hidráulica (“retro araña”), que se enganchaba al puente grúa instalado en el lugar. El material excedente era evacuado a través del piloto existente (ejecutado en la fase de perforación Raise Borer) hacia la parte inferior del pique vertical.
- Se realiza la evaluación geológica y geotécnica para determinar el sostenimiento a aplicar.



**GRÁFICO 028**  
**PERFORACIÓN DE TALADROS CON EQUIPOS CLÁSICOS EN LOS**  
**QUE SE COLOCARÁN LOS CARTUCHOS DE EXPLOSIVOS**  
(Fuente: Propia)





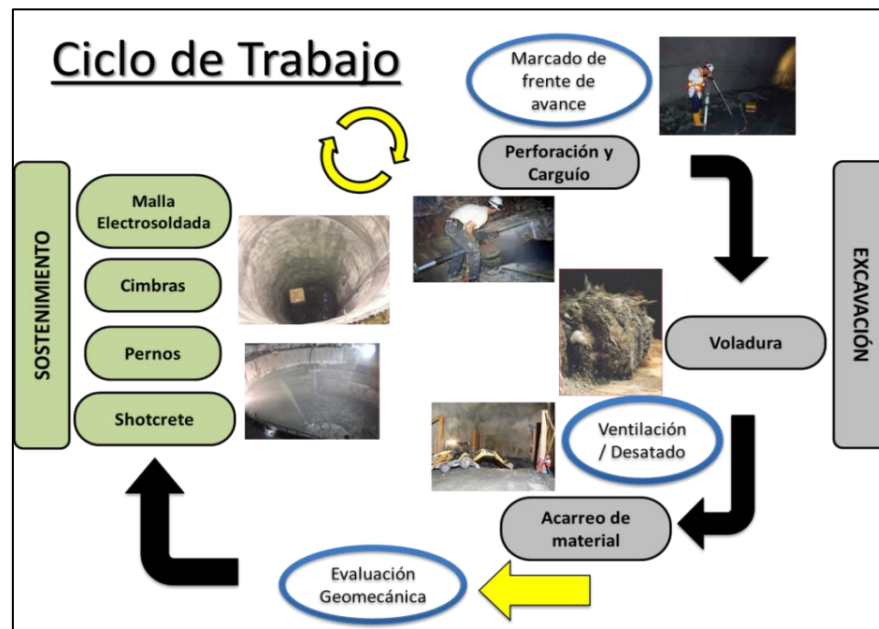
**GRÁFICO 029**  
**TRANSPORTE DE EXCAVADORA “RETROARAÑA” Y ELIMINACIÓN**  
**DE ESCOMBROS PRODUCTO DE LA VOLADURA A TRAVÉS DEL**  
**TÚNEL PILOTO VERTICAL**  
(Fuente: Propia)

### **2.3.2. Descripción del proceso de garantizar el autosostenimiento de las paredes de la excavación:**

La estabilidad de un estrato al alterarlo a través de la excavación, depende de los esfuerzos presentes y de su naturaleza. Para combatir dicho estado de alteración es muy importante el sostenimiento adecuado del estrato de acuerdo a su comportamiento, porque permite controlar el movimiento presente y reduce la posibilidad de falla.

Al hablar de sostenimiento de roca, se hace referencia a los elementos y técnicas empleadas (concreto lanzado, pernos, cables, mallas, cimbras de acero, etc.), que al aplicarse, garanticen el estado de equilibrio deseado en el estrato rocoso perturbado.

En la siguiente gráfica se resume el ciclo de trabajo de excavación y sostenimiento:

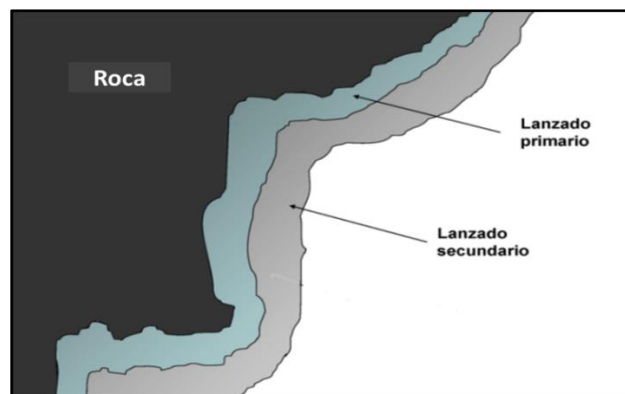


**GRÁFICO 030**  
**CICLO DE TRABAJO – EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO**  
(Fuente: Propia)

### 2.3.2.1. Sostenimiento con Shotcrete:

A continuación se resumen las características del sostenimiento con shotcrete empleado en la obra del Pique de Presión:

- Se realizaba el lanzamiento de dos capas de shotcrete, una capa preventiva (Primera Capa) y una posterior (Segunda Capa) al sostenimiento complementario (malla electrosoldada, pernos, cimbras).



**GRÁFICO 031**  
**SHOTCRETE – CAPAS DE LANZADO**  
(Fuente: “Revestimiento de túneles en concreto lanzado con fibras” – Germán Hermida)

- El lanzado se realizó por **vía húmeda** (mezcla de cemento, arena, agua, fibra metálica y aditivos), según especificaciones del proyecto:  $F'c$  20/25 MPa (200/250 kg/cm<sup>2</sup>) con fibra de acero en proporción de 30 kg/m<sup>3</sup>. La **tecnología del Sosténimiento con Shotcrete** empleado en obra se describe con mayor detalle en el **Anexo 01** de esta tesis.
- La mezcla era preparada según dosificación en la planta de concreto ubicada en obra y se transportaba con uso de mixer al punto de trabajo. El tiempo de traslado fue en promedio de 15 minutos.
- El equipo utilizado para la proyección de concreto fue una bomba OCMER OCM-046 MEDIA, que es una máquina impulsadora de rotor, el mismo que cuenta con una pantalla donde muestra la presión de lanzado, el caudal de la bomba de aditivo y las revoluciones del rotor<sup>2</sup>. La mezcla se depositaba en la tolva de la máquina y se impulsaba a través de una manguera flexible de alta presión hasta el punto de lanzado. Este equipo, se ubicó a nivel del puente grúa, desde donde fue operado. La comunicación con el personal dentro del pique fue a través de radio.



**GRÁFICO 032**  
**FAENA DE SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE**  
(De izquierda a derecha: DESCARGA, BOMBEO Y LANZADO DE MEZCLA)  
(Fuente: Propia)

#### 2.3.2.1.1. Equipos principales de apoyo utilizados:

- Planta de concreto “CONECO” (capacidad de producción: 120 m<sup>3</sup>/h).
- Máquina impulsadora “OCMER MEDIA OCM-46”.
- Puente grúa con carros de 5 y 25 toneladas.
- Compresora de aire.
- Mixer de 7m<sup>3</sup> de capacidad.

<sup>2</sup>. Ficha técnica OCMER-046 MEDIA – [www.ocmer.it](http://www.ocmer.it).



**GRÁFICO 033**  
**PLANTA DE CONCRETO “CONECO”**  
(Fuente: Ezio Macchione Photography)



**GRÁFICO 034**  
**MÁQUINA IMPULSADORA “OCMER MEDIA OCM-46”**  
(Fuente: Ficha técnica OCMER 046 – [www.ocmer.it](http://www.ocmer.it))

#### **2.3.2.2. Sostenimiento con pernos helicoidales y cimbras metálicas:**

En general, en todo el desarrollo del pique de presión se presentaron 02 tramos definidos por estos tipos de sostenimiento:

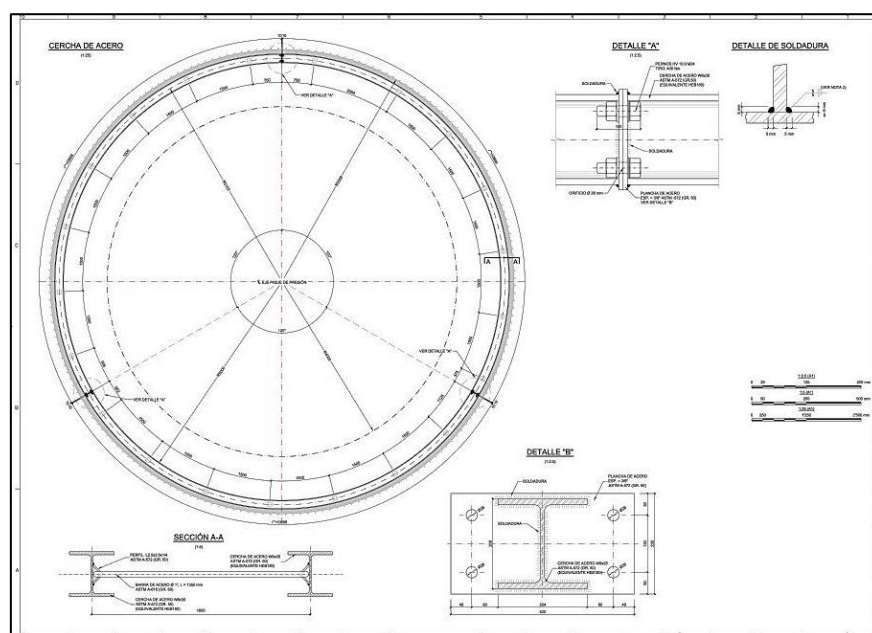
- **TRAMO DE SOSTENIMIENTO TIPO D** = 7.65 metros lineales. Desde la cota 1507.15 hasta la cota 1499.50 msnm. Este tramo del sostenimiento del pique de presión estuvo compuesto por: **Cimbras metálicas y Shotcrete.**

Las **características del sostenimiento con cimbras** en este tramo se resumen a continuación:



- Las cimbras metálicas circulares (perfiles tipo W8x35), tienen un radio 5.00 m. (distancia del eje vertical del pique a la cara interna de la cimbra) e instaladas a cada metro una de otra (según especificaciones).
- Estas cimbras estuvieron compuestas de 03 partes que fueron acopladas mediante pernos para formar la geometría requerida (circunferencia), y sujetas en su posición final mediante cáncamo de fierro corrugado en forma de “L” anclados a la roca.
- El espacio entre cimbras es ocupado por distanciadores y planchas metálicas acanaladas.
- El espacio entre cimbra y superficie rocosa fue rellenado en nuestro caso con una mezcla de concreto fabricado en obra.
- Posteriormente, en otra etapa de construcción; para rellenar espacios vacíos presentes, se ejecutaron inyecciones de lechada de cemento.

**La tecnología del material para Sostenimiento con Cimbras** se describe con mayor detalle en el **Anexo 02** de esta tesis.



**GRÁFICO 035**

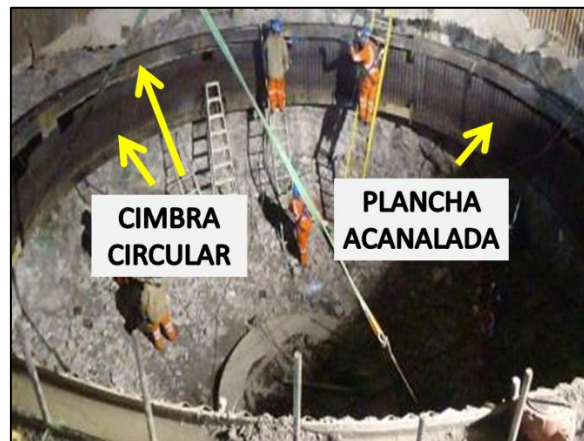
**GEOMETRÍA DE CIMBRA CIRCULAR UTILIZADA EN OBRA**

(Fuente: Plano PE-LOM-5O-17050101-SST-001-R0 – Geometría de Cerchas)



El ciclo de trabajo en este tramo de sostenimiento tipo “D”, se presentó de la siguiente manera:

- Shotcrete preventivo sobre la superficie rocosa (1ra capa).
- Instalación de cimbra metálica.
- Shotcrete en 2da capa para completar el espesor requerido según planos vigentes.



**GRÁFICO 036**  
**SOSTENIMIENTO CON CIMBRA EN PROCESO**  
(Fuente: Propia)



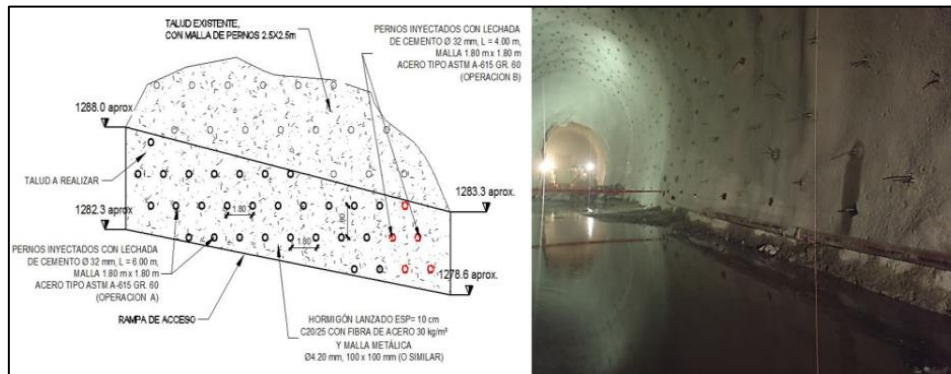
**GRÁFICO 037**  
**SOSTENIMIENTO CON CIMBRA CULMINADO**  
(Fuente: Propia)

- **TRAMO DE SOSTENIMIENTO TIPO C** = 231.00 metros lineales. Desde la cota 1499.50 hasta la cota 1268.50 msnm. Este tramo del sostenimiento del pique de presión estuvo compuesto por: **Pernos helicoidales y Shotcrete**.

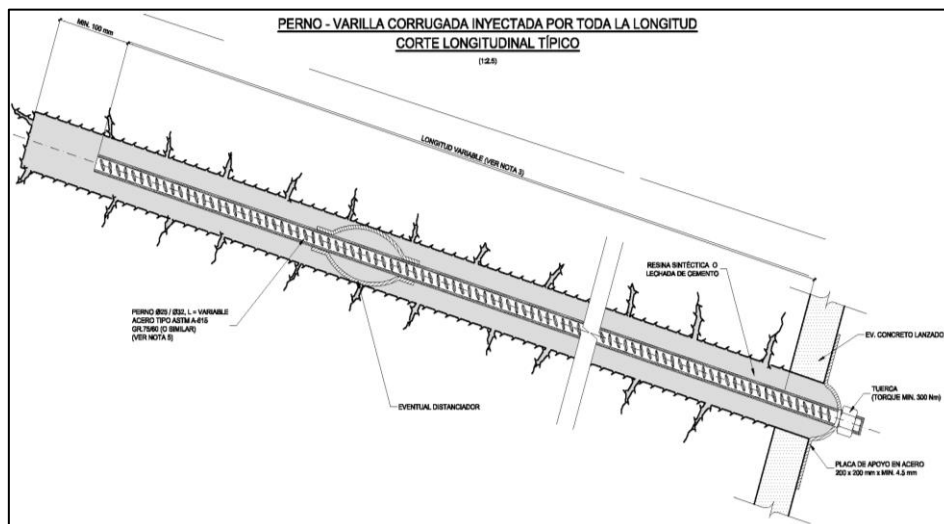
Las **características del sostenimiento con pernos** en este tramo se resumen a continuación:

- Los pernos helicoidales instalados son del tipo ASTM-615, calidad del acero Grado 75, longitud 4.00m y de diámetro 25mm.
- Todos estos fueron instalados en una distribución conocida como “tresbolillo”, empleando cartuchos de resina poliéster como sistema de fijación.

**La tecnología del material para el Sosténimiento con Pernos** se describe con mayor detalle en el **Anexo 03** de esta tesis.



**GRÁFICO 038**  
**PERNO HELICOIDAL INSTALADO – Ejemplo de distribución en Tresbolillo**  
(Fuente: Propia)



**GRÁFICO 039**  
**PERNO HELICOIDAL INSTALADO – Corte longitudinal típico**  
(Fuente: Plano PE-LOM-3P-01010101-EXC-001-R2 – Detalle pernos para túneles)

El ciclo de trabajo en este tramo de sostenimiento tipo “C”, se presentó de la siguiente manera:

- Shotcrete preventivo sobre la superficie rocosa (1ra capa).
- Perforación de taladros para instalación de pernos (según la longitud y diámetro indicado en las especificaciones).
- Instalación de pernos helicoidales con resina poliéster.
- Shotcrete en 2da capa para completar el espesor requerido según planos vigentes.



**GRÁFICO 040**

**SOSTENIMIENTO TÍPICO CON PERNO HELICOIDAL – Instalación**  
(Izquierda: Perforación de taladro / Centro: Colocación de resina / Derecha: Colocación de perno)  
(Fuente: Propia)

#### **2.3.2.2.1. Equipos principales usados:**

- Puente grúa con carros de 5 y 25 toneladas.
- Perforadora neumática manual Jack Leg.
- Compresora de aire.

#### **2.3.3. Descripción del proceso de revestimiento con concreto armado:**

##### **2.3.3.1. Criterios estructurales:**

Antes de iniciar con la descripción del proceso constructivo de la etapa de Revestimiento del Pique de Presión, como parte informativa, se indican los criterios estructurales considerados en el diseño del revestimiento de concreto armado<sup>3</sup>.

<sup>3</sup>. Memoria de Cálculo PE-LOM-5O-17050102-MDC-001-R0 – “Cálculo estructural del pozo en presión”, (2015).

Las variables más importantes consideradas son:

- Presión interior del agua.
- Presión exterior del agua.
- Características del macizo rocoso, tanto de deformabilidad como de permeabilidad.
- Características mecánicas del revestimiento y de permeabilidad.
- Filtración a través de las fisuras que se forman en el revestimiento.

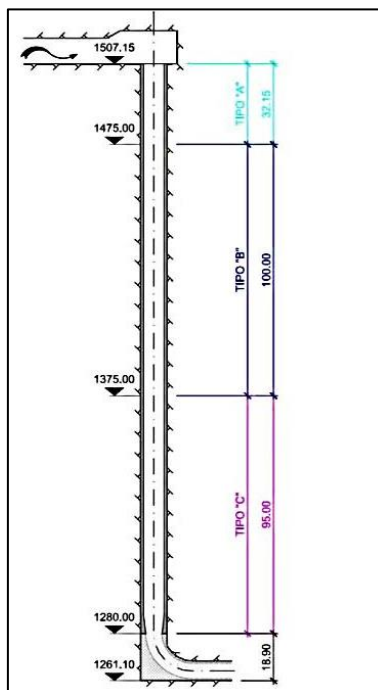
La **presión interior** corresponde, a la presente durante el funcionamiento, considerando las condiciones dinámicas, así como los fenómenos transitorios correspondientes al golpe de ariete (por ejemplo: El cierre de válvulas). Por otro lado, la **presión exterior** hace referencia, a la impuesta por la presencia del nivel freático y filtraciones presentes.

En un largo plazo, a causa de las filtraciones presentes a través del revestimiento, las presiones (interna y externa) podrían equilibrarse. Dicho estado se alcanzaría con el funcionamiento prolongado de la conducción.

En estudios preliminares del proyecto (sondajes), se pudo tener conocimiento de los resultados arrojados tras las pruebas de permeabilidad del macizo rocoso, cuyos datos fueron muy bajos, en consecuencia dicha condición de equilibrio se alcanzaría tras un largo periodo, por ese motivo las presiones externas consideradas son menores a las interiores.

Se ha tenido en cuenta también que, la caverna de máquinas cuenta con drenajes, lo que reduciría la presión sobre el tramo inferior del pique de presión, por eso se consideró una presión máxima externa de 100 metros de columna de agua en ese tramo (tramo “C”).

Es en base a las presiones interiores y exteriores del agua, que el cálculo del pique se dividió en tres tramos:



**GRÁFICO 041**  
**PERFIL DE LOS TRAMOS EN QUE SE DIVIDIÓ EL ANÁLISIS DEL PIQUE**

(Fuente: Memoria de Cálculo PE-LOM-5O-17050102-MDC-001-R0 – Cálculo estructural del pozo en presión)

Tramo	Cota inferior (m)	Cota superior (m)	Altura (m)	Presión interior (m.c.a.)	Presión exterior (m.c.a.)
A	1'475.00	1'507.15	32.15	100	20
B	1'375.00	1'475.00	100.00	200	50
C	1'280.00	1'375.00	95.00	300	100

**TABLA 002**  
**CARACTERÍSTICAS DE CARGA DE CADA TRAMO ANALIZADO**  
(Fuente: Memoria de Cálculo PE-LOM-5O-17050102-MDC-001-R0 – Cálculo estructural del pozo en presión)

La siguiente tabla resume las características estructurales de cada tramo en el que se dividió el pique en esta etapa del revestimiento:

Tramo	E [GPa]	K [m/s]	$p_{i,est}$ [kPa]	$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	$\phi$ [mm]	$\sigma_c$ [MPa]	$\sigma_s$ [MPa]	2a [mm]	q [l/(s.km)]
A	10	$3.E^{-07}$	100	5'730	19.1	0.5	80	0.084	5
B	10	$3.E^{-07}$	200	5'730	19.1	0.8	133	0.137	45
C	10	$3.E^{-07}$	300	11'460	19.1	1.8	155	0.150	66

**TABLA 003**  
**VARIABLES Y RESULTADOS PRINCIPALES DEL CÁLCULO ESTRUCTURAL**

(Fuente: Memoria de Cálculo PE-LOM-5O-17050102-MDC-001-R0 – Cálculo estructural del pozo en presión)

Siendo:

E [GPa]: el módulo elástico.

K [m/s]: la permeabilidad del macizo rocoso.

$P_{i,est}$  [kPa]: la presión estática máxima interna.

$A_s$  [mm<sup>2</sup>/m]: el área de armadura por metro de túnel.

$\phi$  [mm]: el diámetro de las barras de armadura.

$\sigma_c$ : la tensión máxima de tracción del hormigón entre dos fisuras.

$\sigma_s$ : la tensión máxima de tracción del acero en la fisura.

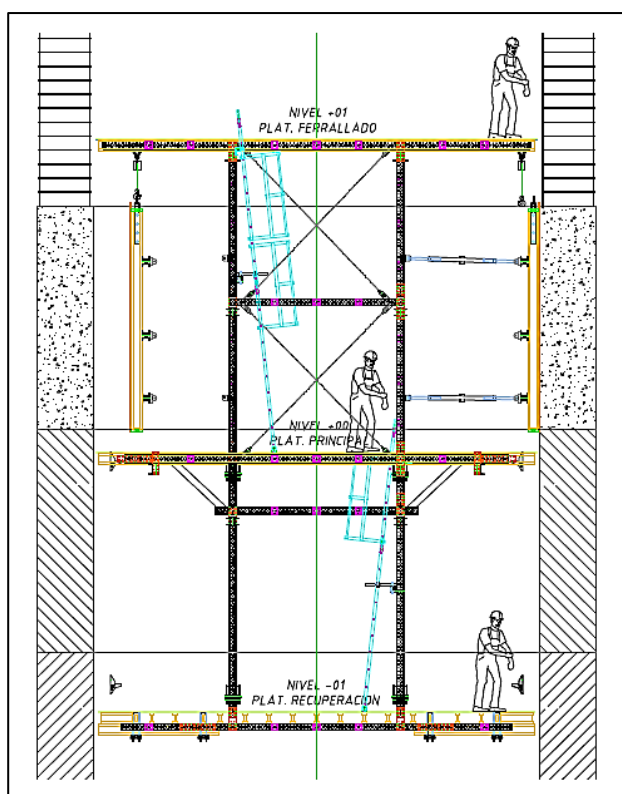
a [mm]: la abertura media de las fisuras.

q [l/(s.km)]: la pérdida de agua teórica.

### 2.3.3.2. Equipos principales usados:

- Planta de concreto CONECO (capacidad de producción: 120 m<sup>3</sup>/h).
- Puente grúa con carros de 5 y 25 toneladas.
- Plataformas de trabajo y Encofrado circular trepante (**La tecnología de este sistema empleado** se describe con mayor detalle en el **Anexo 04** de esta tesis).
- Bomba impulsadora de concreto Putzmeister TK 70 (rendim. máx: 57 m<sup>3</sup>/h).
- Mixer de 7m<sup>3</sup> de capacidad.
- Vibradores de concreto - tipo aguja y de contacto.





**GRÁFICO 042**  
**PLATAFORMAS DE TRABAJO Y ENCOFRADO CIRCULAR**  
**TREPANTE**  
(Fuente: Estudio Técnico del encofrado ULMA – CH Cerro del Águila)



**GRÁFICO 043**  
**BOMBA IMPULSADORA DE CONCRETO MODELO TK 70**  
(Fuente: Ficha Técnica Bomba Putzmeister Thom Katt –  
[www.putzmeisteramerica.com](http://www.putzmeisteramerica.com))



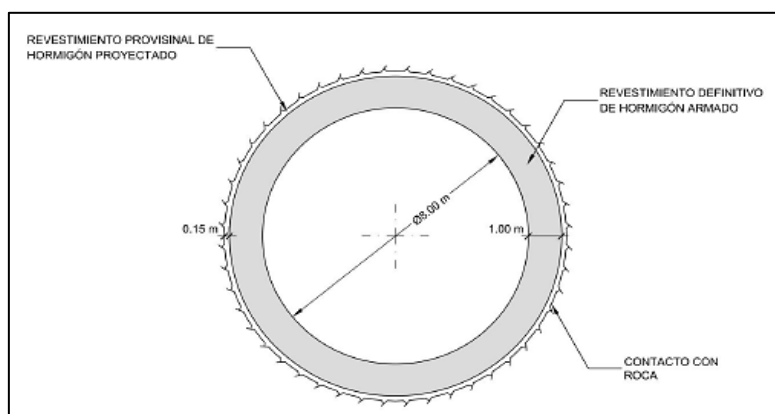


**GRÁFICO 044**  
**VIBRADOR DE CONCRETO - TIPO AGUJA Y DE CONTACTO**  
(Fuente: Propia)

### 2.3.3.3. Procedimiento general del Revestimiento:

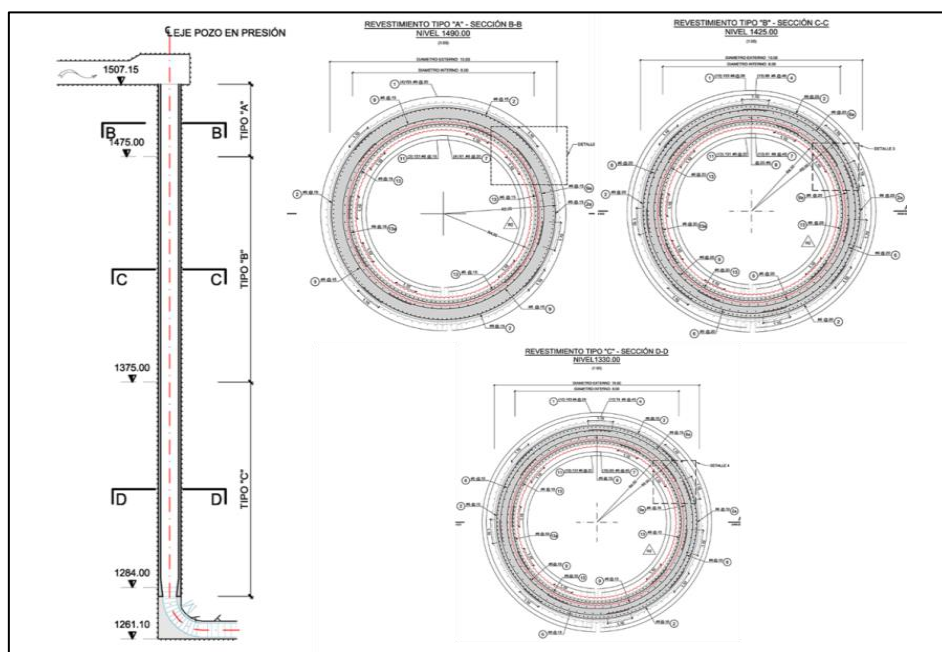
Se resume a continuación las **características del revestimiento** definitivo ejecutado a lo largo del Pique de Presión:

- La longitud total del revestimiento del pique de presión es de 227.15 m. (desde la cota 1507.15 hasta 1280.00 msnm), consta de una anillo de concreto armado de espesor de pared de 1.00 m. y con diámetro efectivo de 8.00 m.



**GRÁFICO 045**  
**SECCIÓN TÍPICA DEL REVESTIMIENTO DE CONCRETO ARMADO**  
(Fuente: Memoria de Cálculo PE-LOM-5O-17050102-MDC-001-R0 – Cálculo estructural del pozo en presión)

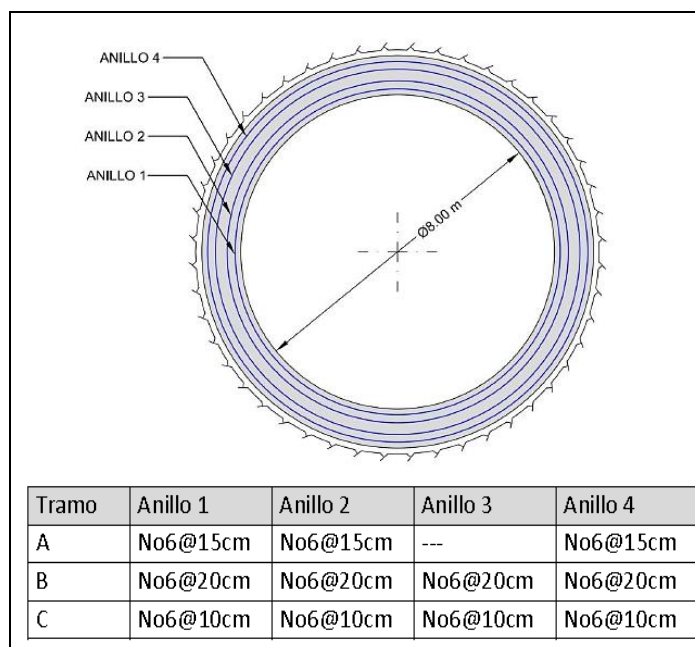
- La mezcla de concreto empleada para el revestimiento tiene como resistencia a la compresión  $f'_c = 25 \text{ MPa}$  (250 kg/cm<sup>2</sup>).
- En lo que respecta al acero de refuerzo, presenta como límite elástico  $f_y = 420 \text{ MPa}$  (ASTM A-615 Gr.60) y diámetro 3/4".



**GRÁFICO 046**

**TRAMOS DE ACERO DE REFUERZO – Sección típica**

(Fuente: Plano PE-LOM-5O-17050102-ARM-001-R2, Plano PE-LOM-5O-17050102-ARM-004-R2 – Revestimiento hormigón armado)



**GRÁFICO 047**

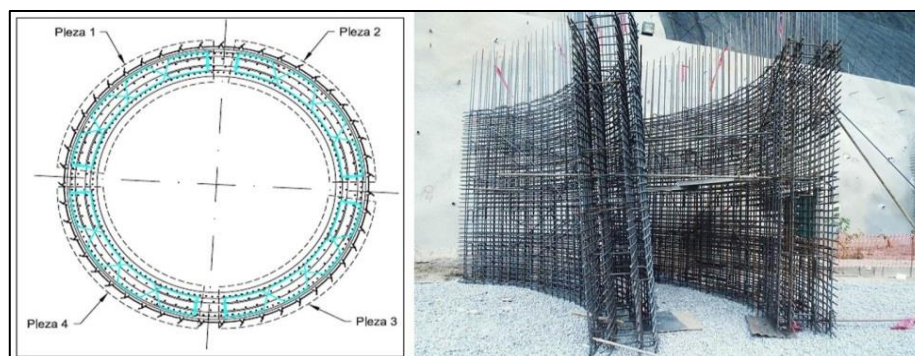
**ANILLO DE ACERO DE REFUERZO – Distribución del acero en cada tramo**

(Fuente: Memoria de Cálculo PE-LOM-5O-17050102-MDC-001-R0 – Cálculo estructural del pozo en presión)

### 2.3.3.3.1. Instalación del acero de refuerzo:

El ciclo de trabajo para esta etapa del revestimiento se estableció de la siguiente manera:

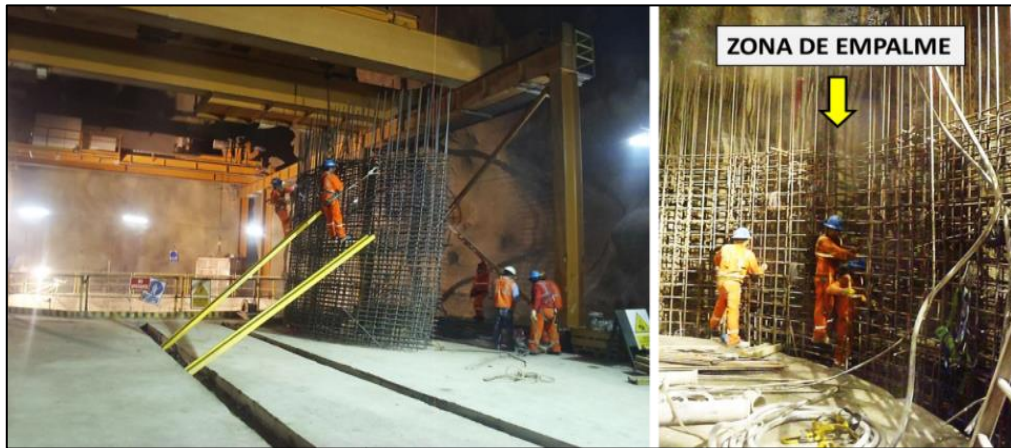
- Se iniciaba con el replanteo topográfico de la geometría del pique de presión (verificación de cotas, ejes, verticalidad, etc).
- El acero de refuerzo fue pre armado fuera del pique, en 04 tramos de 4 toneladas cada uno, que fueron descendidos uno por uno a la posición de trabajo utilizando el puente grúa de 25 toneladas de capacidad. Una vez en el lugar, se unían estos tramos mediante los empalmes respectivos del acero vertical y horizontal hasta formar el anillo de refuerzo.
- Se colocaban los espaciadores de concreto para asegurar el recubrimiento requerido (15 cm).
- En los tramos donde se realizaría posteriormente las inyecciones de lechada, se dejaba tubos de PVC de 2" diámetro que servirían como guías para la perforación de taladros y consecuente inyección (distribuidos esquemáticamente y en los tramos indicados en los planos vigentes).



**GRÁFICO 048**

### **TRAMOS QUE FORMAN EL ANILLO DE ACERO DE REFUERZO**

(Fuente: CRO-0964-CDM-R0 Prearmado Acero\_Pique de Presion\_4 Piezas / Propia)



**GRÁFICO 049**  
**DESCENSO DE TRAMOS Y EMPALME DE ANILLO DE ACERO DE**  
**REFUERZO**  
(Fuente: Propia)

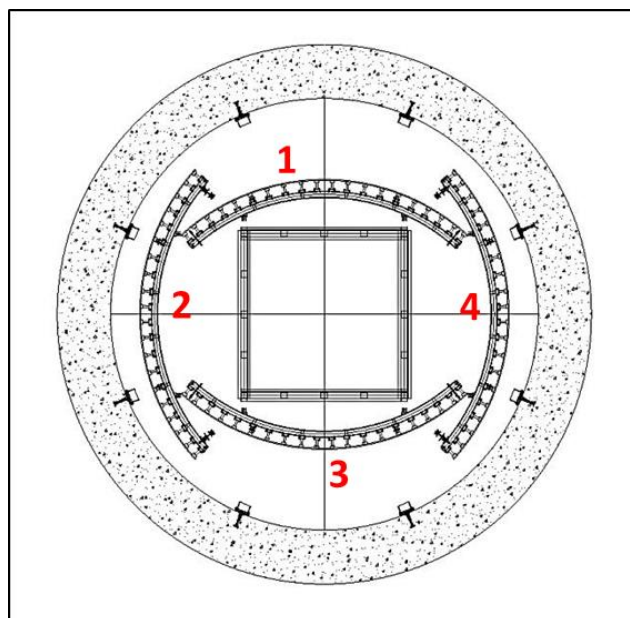


**GRÁFICO 050**  
**COLOCACIÓN DE GUÍAS ANTES DEL VACIADO PARA**  
**POSTERIORES INYECCIONES**  
(Fuente: Propia)

#### 2.3.3.3.2. Encofrado y desencofrado:

El vaciado se realizó contra el terreno, es así que este encofrado al no usar tirantes, se diseñó para comportarse como un anillo a compresión, formado por 04 paneles que eran suspendidos y colocados en su posición final a través de un sistema de poleas dentro la plataforma intermedia del sistema trepante.





**GRÁFICO 051**

**VISTA EN PLANTA DE LOS 04 PANELES DEL ENCOFRADO**

(Fuente: Estudio Técnico del encofrado ULMA – CH Cerro del Águila)

Se presentaron las siguientes consideraciones en la etapa de encofrado y desencofrado:

- Se realizaba la respectiva liberación de la estructura (acero de refuerzo y encofrado) por parte de personal de topografía y control de calidad, para poder proceder al vaciado de concreto.
- El vibrado de la mezcla fue a través de dos tipos de vibradoras: de contacto (sujeta al encofrado) y tipo aguja (introducida en la mezcla durante el vaciado).
- Después del desencofrado, se verificaron los niveles y geometría del tramo vaciado.



**GRÁFICO 052**  
**ENCOFRADO TREPANTE – ASCENSO DEL SISTEMA**  
(Fuente: Propia)



**GRÁFICO 053**  
**ETAPA DE ENCOFRADO Y DESENCOFRADO**  
(Fuente: Propia)

#### **2.3.3.3.3. Vaciado de concreto:**

Se realizó el vaciado desde 02 ubicaciones opuestas y en etapas independientes. Se decidió de esta manera porque en obra no se contaba con toda la longitud requerida de tubería para la conducción de la mezcla, si es que se vaciaba desde una sola ubicación (227.15 m. de longitud del revestimiento del pique).

#### **VACIADO DE ABAJO HACIA ARRIBA:**

Fue el primer tramo desde donde iniciaron las actividades del revestimiento. Desde esta posición, se permitió emplear la misma bomba para otros vaciados en estructuras adyacentes al pique.



Vaciado realizado entre las cotas 1280.00 y 1372.65 msnm (92.65 m.)

La mezcla fue bombeada con ayuda de una tubería metálica vertical de 5" de diámetro, asegurada a través de cáncamos y alambre a la superficie que va recorriendo.

La bomba impulsadora se ubicó en la parte inferior del pique cerca a la caverna de máquinas.



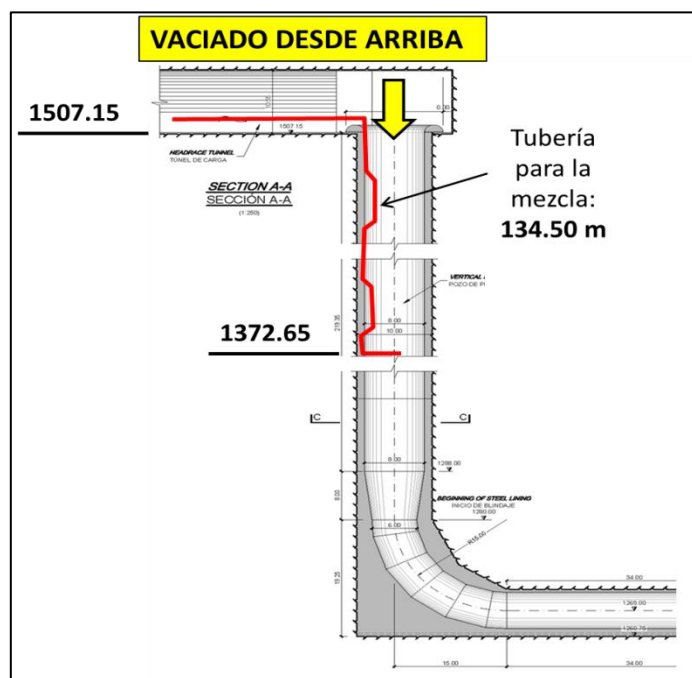
**GRÁFICO 054**  
**ESQUEMA DEL VACIADO DESDE PARTE INFERIOR DEL PIQUE**  
(Fuente: Propia)

**VACIADO DE ARRIBA HACIA ABAJO:**

Vaciado realizado entre las cotas 1372.65 y 1507.15 msnm (134.50 m.)

La mezcla fue bombeada con ayuda de una tubería metálica vertical de 5" de diámetro, asegurada a través de cáncamos y alambre a la superficie que va recorriendo. La bomba empleada permitió acelerar el proceso de vaciado en comparación de ejecutar un vaciado por gravedad.

La bomba impulsadora se ubicó en la parte superior del pique de presión. En este sentido del vaciado, a lo largo de la línea de tubería se dispusieron de codos con cambio de dirección para disminuir la segregación de la mezcla.



**GRÁFICO 055**  
**ESQUEMA DEL VACIADO DESDE PARTE SUPERIOR DEL PIQUE**  
(Fuente: Propia)

**CAPITULO III:  
NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD****3.1. ANTECEDENTES DEL CONTROL DE CALIDAD Y NORMATIVA.****3.1.1. Antecedentes del control de calidad:**

Previo al invento de la máquina a vapor, toda la producción era artesanal con un control de calidad primitivo. La revolución industrial trajo consigo la producción mecánica y en serie, permitiendo el desarrollo cuantitativo y cualitativo del producto final. Pero también empezaron los problemas de producción, ya que al ser masiva, se permitía la presencia de productos que no satisfacían los requerimientos mínimos.

Las fábricas tenían una meta de producción, pero no se velaba por el control del proceso ni por la calidad del producto, esto influía negativamente en los costos finales (producto no conforme / costo de no calidad). Fue así que se originó el concepto de anticipación, supervisión del proceso y producto final (creación de un sistema de control y especificaciones).<sup>1</sup>

En la construcción, desde la antigüedad ya se tenía una visión del concepto de calidad del producto final y, aunque con diferencias con la producción industrial, estos nuevos indicios sirvieron para direccionar los conceptos e ideologías adquiridas en la industria hacia este rubro tan cambiante y no repetitivo como lo es la construcción.

EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE CALIDAD		
	ANTES	AHORA
<b>Se logra con:</b>	Inspección final	Prevención y planificación
<b>Las fallas son:</b>	Algunas inevitables	Todas evitables
<b>La calidad es:</b>	Cara, lujosa	Cumplir con los requisitos
<b>Es responsabilidad de:</b>	Jefe e inspectores	Todos
<b>Gerencia:</b>	Reactivo	Proactivo

**TABLA 004**  
**EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE LA CALIDAD**  
(Fuente: “Gestión de la calidad” – César Camisón)

<sup>1</sup>. Camisón, C., Cruz, S., Gonzalez, T. (2006). “Gestión de la Calidad: Conceptos, enfoques, modelos y sistemas”. (Pearson Educación). España.

### 3.1.2. Normativa:

Los organismos internacionales que elaboran las normas, certifican a las empresas que cumplen sus procedimientos, otorgándoles un valor agregado y mejorando la competitividad, además sirve de garantía al cliente para obtener un producto o servicio de calidad.

La Organización Internacional de Normalización (ISO – International Organization of Standardization) es el mayor desarrollador mundial de las normas internacionales. Fundada en 1947, y desde entonces ha publicado más de 21000 normas internacionales que cubre casi todos los aspectos de la tecnología y los negocios.<sup>2</sup>

Dentro de todas sus publicaciones se encuentra la familia de normas ISO 9000, las cuales hacen referencia a diversos aspectos de la Gestión de la Calidad (Planificación, Aseguramiento, Control y Mejoramiento Continuo), proporcionando orientación y herramientas para asegurar que los productos y/o servicios cumplan con los requerimientos del cliente y que la calidad mejore constantemente.

Los trabajos ejecutados para la construcción de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila se rigieron bajo estas normas y documentos contractuales. Las normas referentes a la calidad acogidas en obra fueron las siguientes:

- ISO 9001:2008 - Sistemas de gestión de calidad – Requisitos: Establece los requisitos de un sistema de gestión de calidad.
- ISO 9000:2008 - Sistemas de gestión de la calidad – Fundamentos y terminología: Cubre los conceptos básicos y el lenguaje.
- ISO 9004: 2009 - Sistemas de gestión de calidad – Directrices para la mejora del desempeño: Se centra en cómo hacer que un sistema de gestión de calidad más eficiente y eficaz.

## 3.2. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL.

### 3.2.1. Planificación de Pruebas, Controles y Ensayos:

La planificación es realizada después de revisada la documentación técnica y contractual del proyecto, respetando las normas vigentes aplicables.

La planificación se resume en el Plan de Control de Calidad (PCQ: Quality Control Plan), elaborado para cada procedimiento de trabajo, el cual es emitido para su aplicación en cada labor específica.

---

<sup>2</sup>. International Organization for Standardization. [www.iso.org/about](http://www.iso.org/about)

### 3.2.1.1. Plan de Control de Calidad (PCQ: Quality Control Plan):

Es aquella herramienta que servirá de guía, y que tiene como objetivo asegurar la satisfacción del cliente, reflejado en:

- El cumplimiento de las especificaciones técnicas del proyecto.
- Los estándares de calidad del cliente y contratista.
- El cumplimiento del contrato.
- Análisis del proyecto.



**GRÁFICO 056**  
**CRITERIOS PARA ELABORAR EL PLAN DE CALIDAD**  
(Fuente: Propia)

Para asegurar el cumplimiento de los parámetros exigidos por el contrato o especificaciones, se generan procedimientos de gestión, que permiten asegurar la calidad de los procesos, y procedimientos de control, que establecen inspecciones y pruebas en las actividades operacionales. En estos procedimientos se definen puntos de control (pruebas, controles, ensayos), indicando quienes son los responsables en cada fase de la actividad (se asiste al personal involucrado) y en qué momento se ejecuta (frecuencia de control).

En el PCQ se determina lo siguiente:

- En qué fase del proceso se realiza el control.
- Tipo de prueba (visual, punto de control, si es que se requiere generar un registro).
- Los criterios de aceptación.
- La frecuencia de realización.
- Los documentos de referencia.
- Los registros que se deben emitir.
- El equipo necesario para el control.
- Los responsables de su cumplimiento.

N°	FASE DEL PROCESO	CARACTERÍSTICAS DE LAS PRUEBAS/ INSPECCIONES Y ENSAYOS	Punto de Control (H)	CRITERIOS DE ACEPTACION	FRECUENCIA	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	REGISTROS PARA EMITIR/ VERIFICAR	EQUIPO UTILIZADO	RESPONSABILIDADES		
									Laboratorio	Control de Calidad	Cliente
1.1	1. CALIDAD DE AGUA	Contenido de sales solubles Totales	H/R	EE.TT del Proyecto	Cada 6 meses o cuando sea requerido	NTP 339.071	Emitido por Laboratorio externo		X		
1.2		Contenido de sulfatos	H/R	EE.TT del Proyecto	Cada 6 meses o cuando sea requerido	NTP 339.074 ASTM D516	Emitido por Laboratorio externo		X		
1.3		Contenido de Cloruros	H/R	EE.TT del Proyecto	Cada 6 meses o cuando sea requerido	NTP 339.076 ASTM D512	Emitido por Laboratorio externo		X		
1.4		Sólidos en suspensión	H/R	EE.TT del Proyecto	Cada 6 meses o cuando sea requerido	ASTM D5907	Emitido por Laboratorio externo		X		
1.5		Potencial de Hidrogeno	H/R	EE.TT del Proyecto	Cada 6 meses o cuando sea requerido	ASTM D1293	Emitido por Laboratorio externo		X		
1.6		Alcalinidad Total	H/R	EE.TT del Proyecto	Cada 6 meses o cuando sea requerido	ASTM D1067	Emitido por Laboratorio externo		X		
1.7		Materia Orgánica	H/R	EE.TT del Proyecto	Cada 6 meses o cuando sea requerido	MITC 716	Emitido por Laboratorio externo		X		

(\*) Leyenda: H= Punto de Control/ Hold point W= Control Visual/ Witness point R= Se requieren registros/ Records of I & T to be provided

### GRÁFICO 057

## EJEMPLO DE PLAN DE CONTROL DE CALIDAD PARA EL AGUA UTILIZADA EN OBRAS DE CONCRETO

(Fuente: Plan de Control de Calidad para el Agua – CH Cerro del Águila)

### 3.2.1.2. Pruebas, Controles y Ensayos en la Recepción:

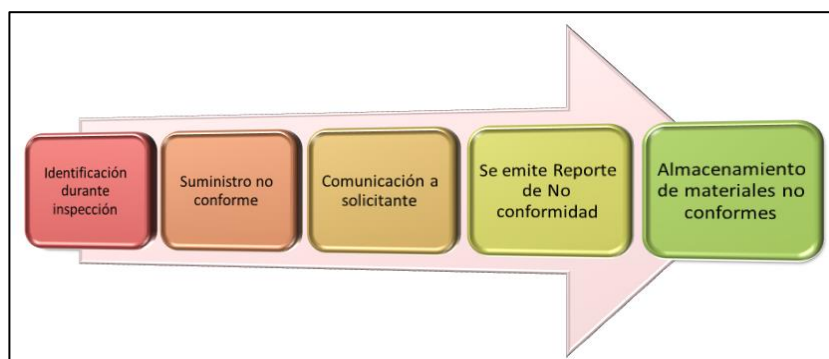
Cuando el producto llega a obra, el responsable de almacén, con el soporte de las áreas interesadas, realiza la evaluación de lo recepcionado, teniendo que verificar lo siguiente:

- Que el tipo, la cantidad y la calidad de lo recibido coincida con la orden de compra.
- Que se cumplan los requisitos mínimos de las especificaciones y normas aplicables.
- Que se cuente con toda la documentación técnica (certificados de calidad, certificados de calibración y hojas técnicas).
- Que en la recepción del producto, se realice el almacenamiento en lugares apropiados y que se asegure conservarlos en buen estado.

Cuando se trataba de materiales permanentes se emitía el Reporte de Inspección de Recepción (RIR) ya sea en el almacén de tránsito (cuando las compras provienen del exterior) o en el almacén de obra. Este registro permite describir las condiciones en las que se recepciona el material, equipo o instrumento. Estos documentos son importantes pues pueden determinar la conformidad o no de un suministro que se recepciona, además de llegar a formar parte del dossier de calidad entregado posteriormente al cliente (en conjunto con los certificados de calidad, certificados de calibración y hojas técnicas).



Cuando un suministro no está conforme además de haber generado el RIR, se informa al responsable de la solicitud para la aplicación de un Reporte de No Conformidad, que será transmitido al proveedor para acción inmediata. Estos suministros no conformes se almacenan en sitios destinados para estos casos y se identifican para prevenir su uso.



**GRÁFICO 058**

**FASES DE ACCIÓN ANTE UN SUMINISTRO NO CONFORME**

(Fuente: Plan de Gestión del Proyecto – CH Cerro del Águila)

**3.2.1.3. Pruebas, Controles y Ensayos en el Proceso:**

En el proceso de las labores cotidianas de obra, pueden requerirse de controles que permitan “liberar” una fase de todo un proceso para proceder a iniciar otra fase consecutiva (otorgar el visto bueno para continuar con la actividad).

Son ejecutadas en el transcurso de las actividades diarias, según lo indicado en el PCQ. Toda documentación generada es archivada como sustento de validación o rechazo del control.

Así como en los suministros, durante el proceso, se genera un Reporte de No Conformidad cuando no se cumplan los estándares requeridos.

Se procederá a explicar en los próximos capítulos, los controles de calidad para cada fase o actividad realizada en la construcción del pique de presión.

**3.2.1.4. Pruebas, Controles y Ensayos Finales:**

Antes de la inspección final y, para la entrega al cliente del producto y/o servicio terminado, se debe garantizar que se cumplan los acuerdos contractuales. Se debe asegurar que:

- Las pruebas de rendimiento o desempeño especificadas han sido satisfactorias.
- Las No Conformidades estén subsanadas.

- Todos los documentos que comprueben los trabajos realizados estén completos y ordenados (dossier).

Si en la inspección final se presentan observaciones, se prepara una Lista de pendientes (Punch List), identificando claramente lo que se tendrá que corregir.

Una vez levantadas las observaciones se registran en el Punch List y concluirá con la firma de aceptación por ambas partes (contratista y cliente) en un Acta de Entrega.

### 3.2.1.5. Control de los equipos de inspección, medición y ensayo:

Todos aquellos equipos utilizados en obra como soporte para los controles en campo de las distintas actividades, fueron calibrados según la frecuencia indicada en las certificaciones adjuntas al equipo o instrumento.

**Calibración:** Conjunto de operaciones que establecen la relación entre los valores de las magnitudes indicadas por un instrumento de medición, y los valores correspondiente de la magnitud realizada por los patrones.

Los laboratorios externos encargados de la calibración de los equipos y/o instrumentos deben contar con acreditación, en nuestro país el ente regulador es el INACAL (Instituto Nacional de Calidad).

Los equipos fuera de calibración o dañados fueron identificados, rotulados y apartados para prevenir su utilización.

### 3.2.2. Control de la excavación:

Cuando las excavaciones se ejecutan controlando la sección de excavación, de manera que se disturbe lo menos posible la roca circundante, es cuando aparece el concepto de TÚNEL, que abarca, al proceso de excavación, control de la periferia, sostenimiento, revestimiento y consolidación de la excavación.

La velocidad de avance estará relacionada con las características que ofrezca el macizo rocoso, la implementación y acondicionamiento de los equipos que se emplean, la destreza y experiencia de la cuadrilla de trabajadores, y, por último, las condiciones de seguridad o instalaciones que se faciliten para el logro del avance esperado.

El nivel tecnológico actual ha permitido conseguir mayores avances, gracias a la mejora o acondicionamiento de los equipos e instalaciones, pero la calidad del producto terminado depende fundamentalmente de la experiencia del personal involucrado.

### 3.2.2.1. Control topográfico - Control de avance y convergencias:

#### 3.2.2.1.1. Plan de Control de Calidad – Excavación:

Se estableció el siguiente Plan de Control de Calidad (PCQ) para esta etapa de trabajo:

ASTALDI GyM CONSORCIO RIO MANTARO		PLAN DE CONTROL DE CALIDAD CONSTRUCCIÓN DE AMPLIACIÓN DEL PIQUE DE PRESIÓN				Cerro del Águila							
Cliente: CERRO DEL ÁGUILA S.A.		Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERIA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCION PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL ÁGUILA		Obras: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL ÁGUILA		SGI-CRM-GC-025-PCQ Rev. 3 Fecha: 16/09/2013							
PREPARADO POR (RCQ):		VERIFICADO POR (RUT):		APROBADO POR (PME):		Página 1 de 2							
						FECHA: 27.09.2014							
N°	FASE DEL PROCESO	CARACTERÍSTICAS DE LAS PRUEBAS/ INSPECCIONES Y ENSAYOS	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	FRECUENCIA	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	REGISTROS PARA EMITIR/ VERIFICAR	EQUIPO UTILIZADO	RESPONSABILIDADES					
			Tipo de Prueba					Construcción	Fecha	Control de Calidad	Fecha	Cliente	Fecha
1	EXCAVACIÓN EN GENERAL	Inspección de trazo y replanteo topográfico para excavación.	H/R	Para cada área a liberar.	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	SGI-CRM-GC-027-RAT	Estación Total	X		X			
2		Excavación con voladura.	H/R	Para cada excavación liberada	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	SGI-CRM-GC-006-EXC	Equipos perforación	X		X			
3		Verificación topográfica de los ejes, cotas y dimensiones de la sección excavada.	H/R	Para cada excavación liberada	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	SGI-CRM-GC-027-RAT	Estación Total	X		X			

SGI-CRM-GC-025-PCQ (\*) Leyenda: H= Punto de Control/ Hold point W= Control Visual/ Witness point R= Se requieren registros/ Records of I & T to be provided

### GRÁFICO 059

#### PLAN DE CONTROL DE CALIDAD – EXCAVACIÓN

(Fuente: Procedimiento de trabajo GE-AGM-3P-01050101-MPR-084-R1\_Ampliación del Pique de Presión)

#### 3.2.2.1.2. Control de avance:

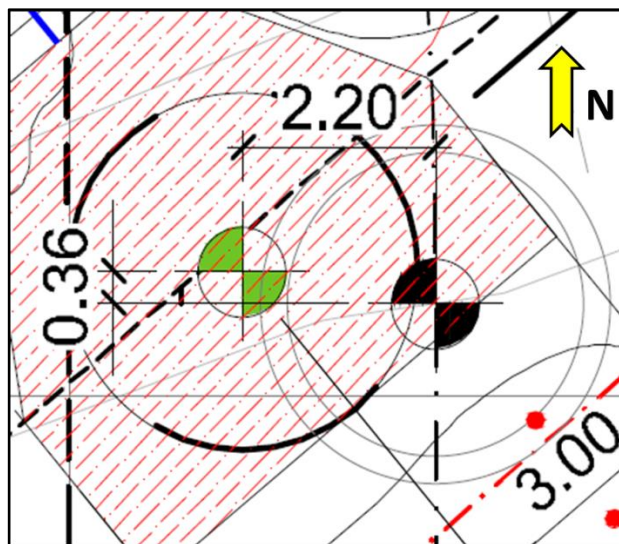
Como ya se explicó previamente, el proceso de excavación constó de 02 fases, en las cuales se realizaron los siguientes controles en campo

#### Control - Sistema Raise Borer:

En esta primera fase se controló la excavación de una chimenea vertical de 3.10 m. de diámetro a través del empleo del **Sistema Raise Borer**: Que permitió la perforación descendente del piloto de 12 1/4" de diámetro y escariado (ensanche de diámetro inicial) ascendente para alcanzar el diámetro de 3.10m.

En esta etapa, se realizó el control topográfico antes de iniciar esta perforación, ubicando las coordenadas de inicio del piloto, y luego verificando la desviación de la perforación de este piloto antes del inicio del escariado.

La desviación permisible según contrato fue de un máximo de 1.50% de la longitud total de perforación (en nuestro caso no mayor a 3.58m. pues la longitud excavada fue de 238.65m.) La desviación encontrada al culminar la perforación del piloto fue de 0.36 m. con dirección hacia el Norte y 2.20 m. hacia el Oeste, para el total de longitud excavada con este sistema, entonces se concluye que la desviación descrita estuvo dentro de lo permitido.



**GRÁFICO 060**  
**DESVIACIÓN ENCONTRADA DESPUÉS DE CULMINADA LA**  
**PERFORACIÓN DEL PILOTO**

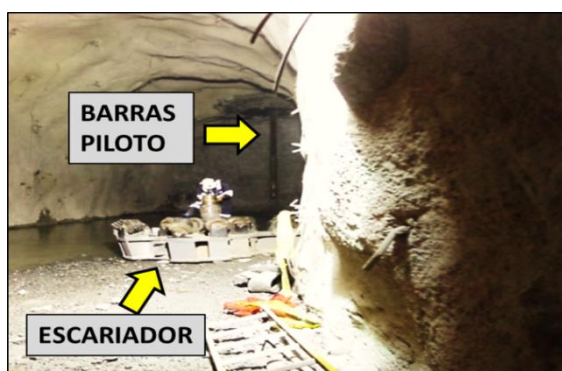
(Fuente: Plano CRO-0798-CDM – Llegada Pique de Presión)

Resumen de datos de la fase del Raise Borer:

- Longitud perforada: 238.65 m.
- Inicio de Piloto: 17 de Abril del 2014.
- Fin de Piloto: 26 de Abril del 2014.
- Plazo de la perforación Piloto: 10 días.
- Inicio de escariado: 21 de Junio del 2014.
- Fin de escariado: 28 de Julio del 2014.
- Plazo del escariado: 38 días.



**GRÁFICO 061**  
**RAISE BORER – INICIO DE PERFORACIÓN PILOTO**  
(Fuente: Propia)



**GRÁFICO 062**  
**RAISE BORER – FIN DE PERFORACIÓN PILOTO**  
(Fuente: Propia)



**GRÁFICO 063**  
**RAISE BORER – INICIO DE ESCARIADO (ENSANCHE DE DIÁMETRO INICIALMENTE PERFORADO)**  
(Fuente: Propia)





**GRÁFICO 064**  
**RAISE BORER – FIN DE ESCARIADO**  
(Fuente: Propia)

**Control– Sistema de Excavación por Voladura:**

En esta fase se controló la excavación para la **ampliación del diámetro inicial**, de 3.10 m. a 10.00 m. (**Ciclo de excavación y sostenimiento**).



**GRÁFICO 065**  
**CICLO DE TRABAJO Y CONTROL – EXCAVACIÓN Y SOSTENIMIENTO**  
(Fuente: Propia)



Resumen de datos de la fase de ampliación de diámetro por voladura:

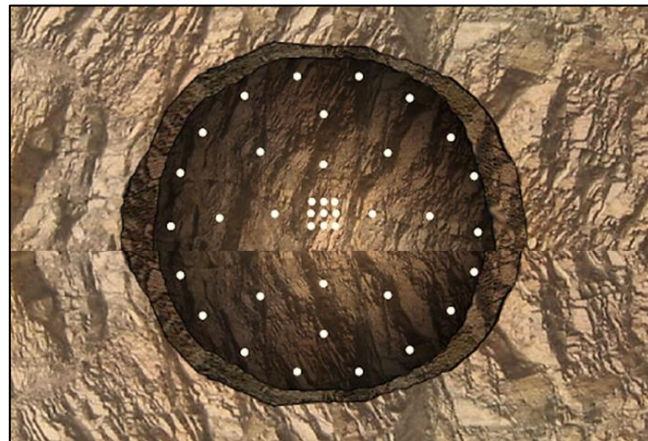
- Longitud excavada: 238.65 m.
- Inicio de ampliación: 01 de Agosto del 2014.
- Fin de ampliación: 11 de Febrero del 2015.
- Plazo: 195 días.



**GRÁFICO 066**  
**INICIO DE EXCAVACIÓN POR VOLADURA**  
(Fuente: Propia)

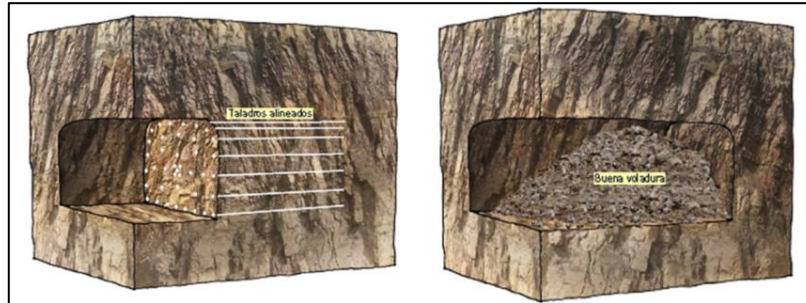
A continuación se resume los controles realizados en esta fase de la excavación:

- El trazo y replanteo topográfico se realizó por cada avance, el cual consistía en el trazado de la malla de perforación en el frente de trabajo, para posterior perforación, carguío de explosivos y consecuente voladura.



**GRÁFICO 067**  
**EJEMPLO DE DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN**  
(Fuente: “Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea” – Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía)

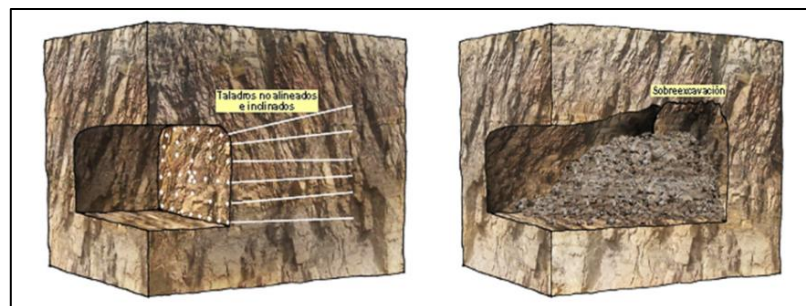
Puedo mencionar que, es importante comprender que tanto la malla de perforación como el alineamiento de los taladros, son aspectos críticos para lograr que los resultados de la voladura sean exitosos. El correcto alineamiento de la malla de perforación permite la descarga de la energía de la voladura de manera controlada.



**GRÁFICO 068**

**CORRECTO PARALELISMO DE TALADROS**

(Fuente: “Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea” – Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía)



**GRÁFICO 069**

**INCORRECTO PARALELISMO DE TALADROS**

(Fuente: “Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea” – Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía)

- Después de la explosión, se limpiaban los escombros, y el personal de topografía verificaba el avance obtenido, así como la verticalidad de las paredes y dimensiones del pique respecto a lo indicado en los planos; identificando, cuando era el caso, zonas donde se necesitaba “perfilar” la sección y zonas de sobre excavación.



**GRÁFICO 070**  
**CONTROL TOPOGRÁFICO EN LA ETAPA DE EXCAVACIÓN**  
(Fuente: Propia)

- Luego de culminado el sostenimiento con shotcrete, se marcaba la ubicación de los pernos o cimbra según correspondiera con el tipo de sostenimiento indicado por el área de Geología.
- Una vez completado todo el sostenimiento requerido, nuevamente se marcaba la malla de voladura en el frente para así repetir el ciclo de trabajo.



**GRÁFICO 071**  
**ETAPA DE EXCAVACIÓN POR VOLADURA CULMINADA – VISTA INFERIOR DEL PIQUE EXCAVADO**  
(Fuente: Propia)

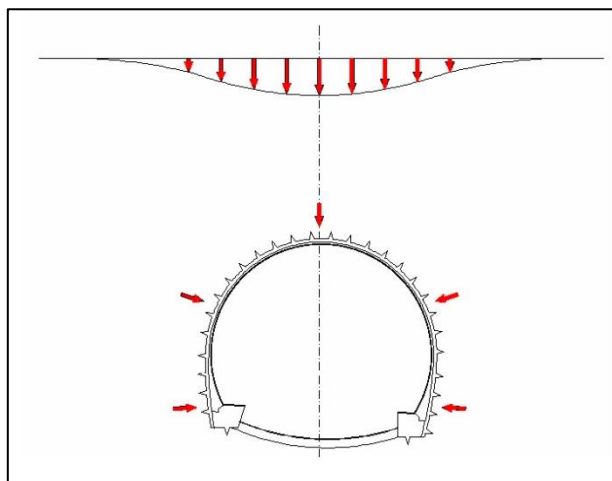
### 3.2.2.1.3. Medición y control de convergencias:

**Convergencia:** Movimiento entre dos puntos fijos que se acercan entre sí.

A continuación se describe el fundamento para el control de las deformaciones ocurridas al excavar un estrato y el procedimiento de control aplicado en obra.

#### **ESTADO DE TENSIONES EN EL MACIZO ROCOSO:**

Cuando se produce la excavación de un macizo rocoso, inevitablemente se provoca una alteración de la estabilidad del terreno, el cual buscará recuperar su equilibrio a través de desplazamientos que deben ser controlados.



**GRÁFICO 072**

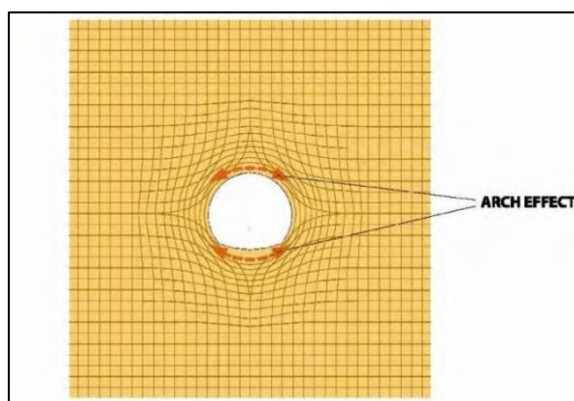
#### **ESQUEMA BÁSICO DE DEFORMACIONES EN LA SUPERFICIE Y ESFUERZOS EN TÚNEL**

(Fuente: “Monitoreo de deformaciones y habilitación de nuevo camino la polvora – Tunel T3” – Andres Herman Gysling)

Al generar una cavidad en el estrato, se genera una canalización de las tensiones naturales presentes hacia alrededor de las paredes de la excavación, donde se concentrarán las zonas de mayor estrés. Esta canalización del flujo de tensiones se conoce como “Efecto Arco”.<sup>3</sup>

<sup>3</sup>. Navarro, S., Ortiz, R., Ruiz, J. – “Geotecnia aplicada a la construcción de túneles” (2014).





**GRÁFICO 073**

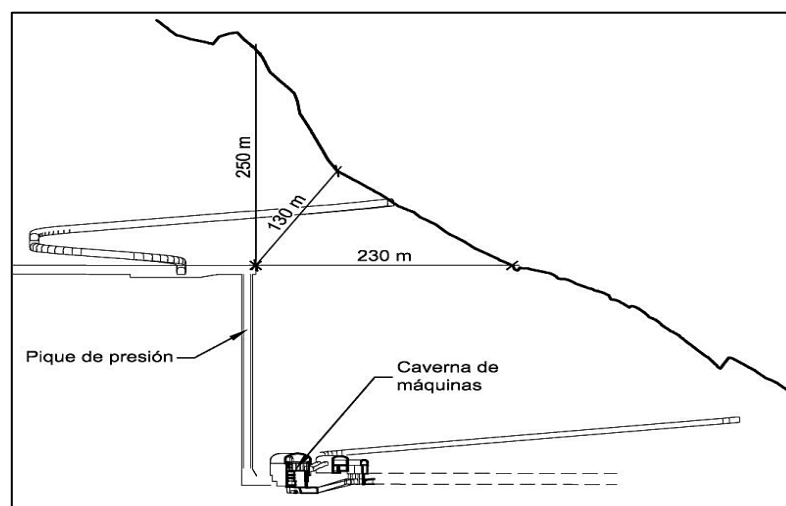
**EFFECTO ARCO - Líneas de tensiones del terreno alrededor de una cavidad**

(Fuente: “Geotecnia aplicada a la construcción de túneles” – Salvador Navarro)

**POTENCIA DE LA COBERTURA DE ROCA DESDE LA SUPERFICIE SOBRE EL PIQUE DE PRESIÓN:**

A medida que se excavaba el pique de presión, la presión principal que preocupaba durante la ejecución es aquella proveniente en sentido horizontal (ya que la cavidad es vertical, se podía esperar desprendimiento de roca en ese sentido).

La siguiente imagen muestra la cobertura que presenta el pique de presión en sentido vertical, horizontal, y ortogonal a la pendiente de la ladera.



**GRÁFICO 074**

**COBERTURA DEL PIQUE DE PRESIÓN EN SENTIDO HORIZONTAL, VERTICAL Y ORTOGONAL A LA LADERA**

(Fuente: Memoria de Cálculo PE-LOM-5O-17050102-MDC-001-R0 – Cálculo estructural del pozo en presión)

### **PROCEDIMIENTO DE MEDICIONES Y CONTROL DE CONVERGENCIAS:**

Se realizó el control topográfico, midiendo la distancia inicial y la variación de la misma entre puntos establecidos dentro del perímetro de la sección excavada. Estas mediciones y sus respectivas variaciones se conocen como Mediciones de Convergencia (acercamiento) y Divergencia si se da el caso (alejamiento).

Al cuantificar estas mediciones podemos graficar las variaciones que se presentan respecto al tiempo; esto es importante para conocer cuál es el comportamiento y tendencia (estática o dinámica) del estrato en su estado alterado y con el sostenimiento indicado, y al mismo tiempo, afectado por los esfuerzos naturales y adicionales provocados por el ritmo de las consecuentes excavaciones.

La evaluación in situ del macizo y/o de los datos obtenidos de las lecturas topográficas, permite poder actuar de manera correcta, aplicando el sostenimiento indicado o modificándolo, o si es el caso, variando también la secuencia de excavación.

Se describe el proceso de control de convergencias:

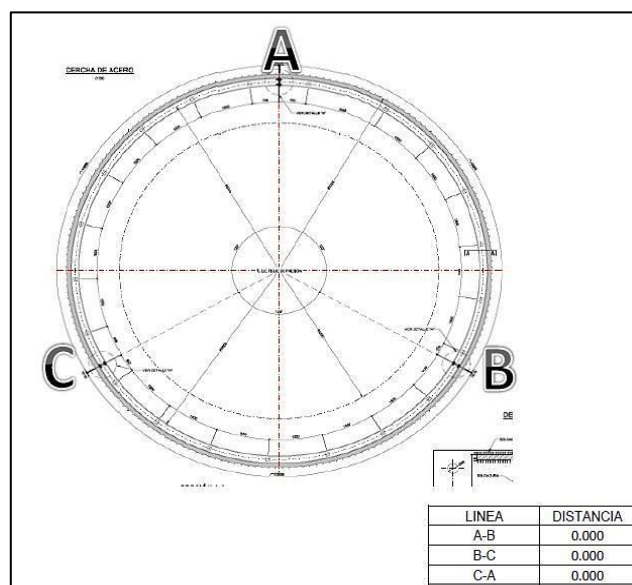
- Una vez ubicados y perforados los puntos de control a un mismo nivel en la parte ya excavada y controlada, el personal involucrado procedía a instalar las platinas en las cuales se instalaban las dianas reflectivas para su posterior lectura, estos puntos se protegían ante impactos de material procedente de la voladura. Cuando se presentó roca tipo “D” (uso de cimbras), la solución fue soldar estos pernos sobre estos elementos metálicos.



**GRÁFICO 075**  
**PLATINA INSTALADA PARA MEDICIÓN DE CONVERGENCIA**  
(Fuente: Propia)

- En el caso del Pique de Presión, se estableció el esquema de medición con 03 puntos por cada medición realizada, distribuidos equitativamente a lo largo del perímetro de excavación.

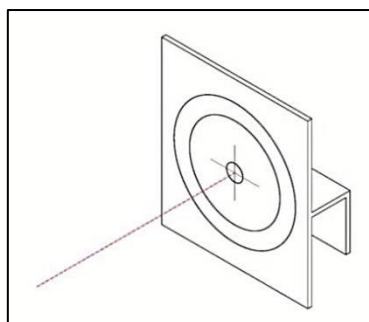




**GRÁFICO 076**  
**ESQUEMA DE LOS PUNTOS DE CONTROL Y MEDICIÓN DE CONVERGENCIAS**

(Fuente: Procedimiento de trabajo GE-AGM-3P-01XXXXXX-MPR-033-R8 – Medición de convergencias en los túneles y piques)

- El láser de la estación total debería siempre apuntar al bull central de la diana reflectiva (marcado con una cruz), asegurando el menor error posible y un mejor control en la medición.



**GRÁFICO 077**  
**DETALLE DE MEDIDA DE CONVERGENCIA EN PLATINA**  
(Fuente: Procedimiento de trabajo GE-AGM-3P-01XXXXXX-MPR-033-R8 – Medición de convergencias en los túneles y piques)

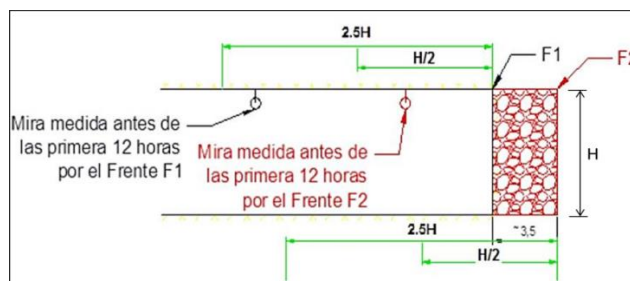
- La medición se realizó dentro del tramo que comprende como distancia del frontón mínima a  $H/2$  y distancia máxima a  $2.5H$  y por ningún motivo mayor a 25 metros para roca de clase A, B o C, y entre una distancia no mayor a 5 metros cuando se trató de roca de clase D o E.

Clase de roca	Distancia mínima	Distancia Máxima
A-B-C ( $Q > 1$ )	$H/2$ (*)	$2.5 H$ (**)
D-E ( $Q \leq 1$ )	N.A	5 m

Nota: (\*)  $H$  = Altura del túnel; (\*\*)  $< 25$  m

**TABLA 005**  
**CONSIDERACIONES PARA LAS MEDICIONES DE CONVERGENCIA**

Fuente: Procedimiento de trabajo GE-AGM-3P-01XXXXXX-MPR-033-R8 – Medición de convergencias en los túneles y piques)



**GRÁFICO 078**  
**CONSIDERACIONES PARA LAS MEDICIONES DE CONVERGENCIA**

Fuente: Procedimiento de trabajo GE-AGM-3P-01XXXXXX-MPR-033-R8 – Medición de convergencias en los túneles y piques)

- Se tuvo una frecuencia de lecturas de la siguiente forma:
- Para la primera semana, una (01) lectura diaria o por voladura.
- Para la segunda, tercera y cuarta semana, una lectura (01) por semana.
- Para la quinta semana en adelante, una lectura (01) al mes hasta que el departamento de Geología definía el cese de los controles.
- Todas estas lecturas se realizaron en un periodo comprendido entre las 8 a 12 horas de realizada la voladura.

	OFICINA TÉCNICA	TOPOGRAFÍA	PRODUCCIÓN	CALIDAD
<b>Excavación</b>	Emisión de planos oportunamente	Reporte de Actividad Topográfica (Registro)	- Revisión de planos actualizados - Apertura de registro de Excavación	- Verificación del registro topográfico - Cierre de registro de Excavación (Control y Liberación)
<b>Desatado</b>	-	-	Ejecución	Cierre de registro de Excavación (Control y Liberación)
<b>Seccionamiento / Alineamiento</b>	-	Reporte de Actividad Topográfica (Registro)	Ejecución	Verificación del registro topográfico
<b>Convergencias</b>	Procesar datos para envío a Cliente	- Reporte de Actividad Topográfica (Registro) - Medición de Convergencia	Apoyo con equipo y/o personal	- Verificación del registro topográfico - Verificación del cumplimiento según lo indicado en Procedimiento vigente

**TABLA 006**  
**EXCAVACIÓN: Resumen de Actividades de Control**  
(Fuente: Propia)

### 3.2.3. Control y métodos de sostenimiento:

#### 3.2.3.1. Clasificación geomecánica y tipo de sostenimiento:

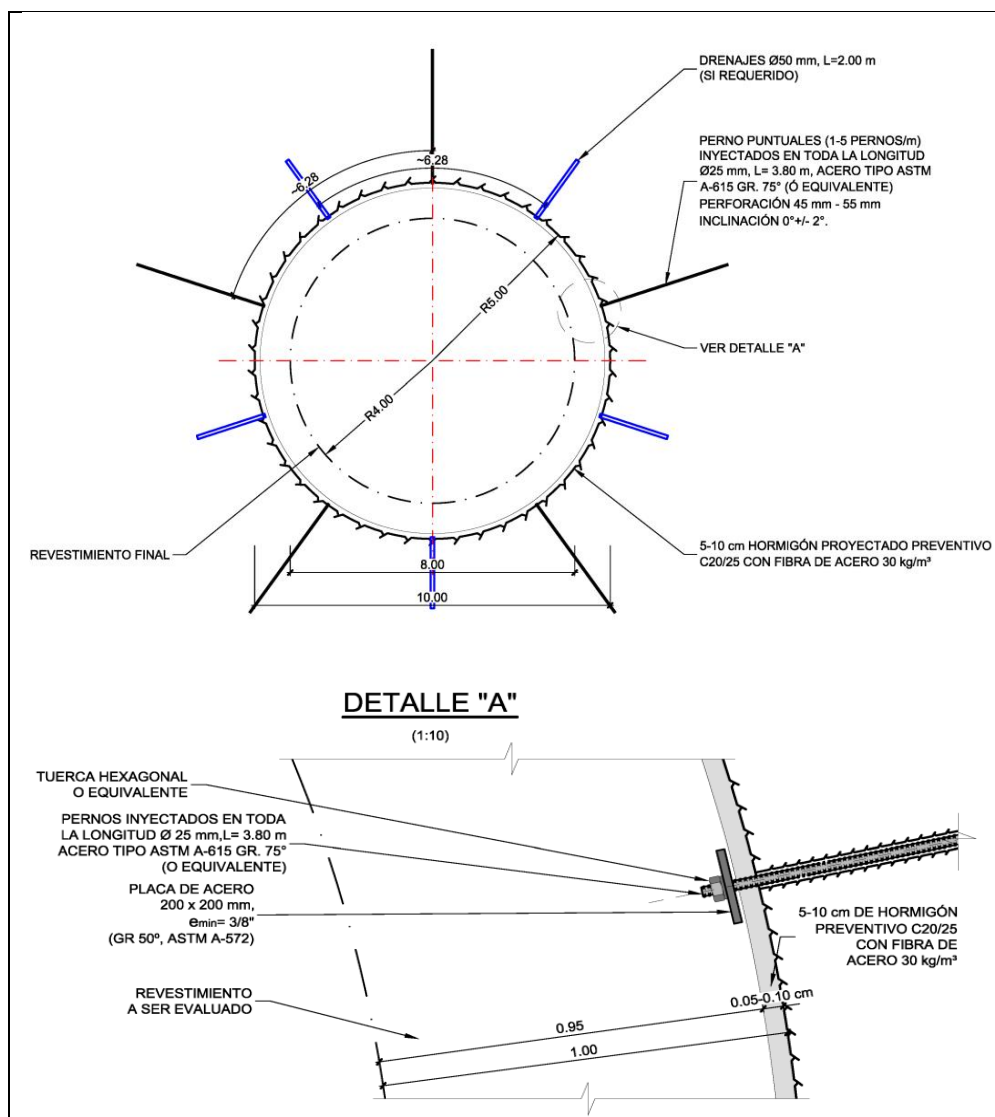
El objetivo de la clasificación geomecánica es caracterizar el macizo rocoso presente en las excavaciones, a través de parámetros a los que se les asigna un cierto valor (conocer la calidad de la roca).

Estas clasificaciones fueron utilizadas, tanto durante la etapa del estudio del proyecto, para estimar el sostenimiento necesario; así como durante la excavación misma del pique de presión, para evaluar la calidad de la roca in situ y aplicar el sostenimiento correcto.

Al hablar de sostenimiento de roca, se hace referencia a los elementos y técnicas empleadas (concreto lanzado, pernos, cables, mallas, cimbras de acero, etc.), que al aplicarse, garanticen el estado de equilibrio deseado en el estrato rocoso perturbado.

Esta parte dentro del proceso de construcción se vuelve muy vital, y el control es fundamental, ya que conlleva responsabilidad tanto para que la estructura cumpla su funcionamiento y a la vez sea segura para seguir trabajando.

**El tipo de sostenimiento proyectado para el Pique de presión se describe en el Anexo 05 de esta tesis.**



**GRÁFICO 079**

### **EJEMPLO DE SOSTENIMIENTO PROYECTADO PARA EL PIQUE DE PRESIÓN (Sección y detalle)**

(Fuente: Plano PE-LOM-50-17050102-EXC-001-R0 – Secciones de Sostenimiento)

#### **3.2.3.2. Control del Sostenimiento con Shotcrete:**

Este control abarca la inspección previa de los componentes de la mezcla, su preparación o dosificación, la preparación del estrato antes de su aplicación y la verificación de su desempeño después de ser lanzado.

### 3.2.3.2.1. Plan de Control de Calidad – Sostenimiento con Shotcrete:

Se estableció el siguiente Plan de Control de Calidad (PCQ) para esta etapa de trabajo:

ASTALDI GyM CONSORCIO RIO MANTARO		PLAN DE CONTROL DE CALIDAD SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE GE-AGM-3P-01010102-MPR-026-R4-PCQ				Cerro del Águila SGI-CRM-GC-025-PCQ Rev. 3 Fecha: 16/09/2013		
Cliente: CERRO DEL AGUILA S.A.		Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERIA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCION PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA		Obra: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA		Página 1 de 2		
PREPARADO POR (RQC):		VERIFICADO POR (RUT):		APROBADO POR (PME):		FECHA: 11/08/2014		
N°	FASE DEL PROCESO	CARACTERÍSTICAS DE LAS PRUEBAS/ INSPECCIONES Y ENSAYOS	CRITERIOS DE ACEPTACION	FRECUENCIA	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	REGISTROS PARA EMITIR/ VERIFICAR	EQUIPO UTILIZADO	RESPONSABILIDADES
								Construcción Control de Calidad Cliente
1	PRODUCCIÓN DE SHOTCRETE	Inspección de materiales/ inspección de certificados de calidad de materiales e insumos	EE.TT. del proyecto. Información técnica de los materiales/insumos	Dianamente	EE.TT. del Proyecto / Planos para Construcción/ PGP-AST-146	SGI-CRM-GC-023-RIR	N.A	X
2		Certificados de calibración de equipos e instrumentos	EE.TT. del proyecto. Información técnica de los equipos	De acuerdo a requerimiento del equipo	EE.TT. del Proyecto	SGI-CRM-GC-030-STRUM1 / SGI-CRM-GC-031-STRUM2 / SGI-CRM-GC-032-STRUM3 / SGI-CRM-GC-034-CALTO / SGI-CRM-GC-035-RTC	Participa área de Equipos	X
3	APLICACIÓN DE SHOTCRETE	Liberación del área antes de lanzado	EE.TT. del proyecto / Planos para construcción	Por cada tramo a liberar	EE.TT. del proyecto / Planos para construcción	SGI-CRM-GC-008-ADS	N.A	X
4	APLICACIÓN DE SHOTCRETE	Aplicación de Shotcrete adecuada	EE.TT. del proyecto	Para cada lanzado.	EE.TT. del proyecto	SGI-CRM-GC-008-ADS	N.A	X
5		Fraguado inicial y final / acabado y curado	EE.TT. del proyecto	Cuando se requiera.	EE.TT. del proyecto / Planos para construcción	SGI-CRM-GC-008-ADS / Formato de Laboratorio	Equipos de Laboratorio	X
6		Control de espesores	EE.TT. del proyecto / Planos para construcción	Por cada tramo de lanzado.	EE.TT. del proyecto / Planos para construcción / POC	SGI-CRM-GC-008-ADS / SGI-CRM-GC-027-RAT	Equipo topográfico y/o calibradores	X
7		Control de Concreto Fresco	EE.TT. del proyecto	Según PCQ de concreto lanzado – Laboratorio			Participa área de Laboratorio	X
8		Ensayos al concreto endurecido	EE.TT. del proyecto	Según PCQ de concreto lanzado – Laboratorio			Participa área de Laboratorio	X
10	SHOTCRETE COLOCADO (VERIFICACIÓN IN SITU)	Verificación de espesores	EE.TT. del proyecto / Planos para construcción	- 1 punto cada 50 m2 de concreto lanzado. O cuando sea necesario	EE.TT. del proyecto	SGI-CRM-GC-009-VES	Wincha metálica	X

SGI-CRM-GC-025-PCQ (\*) Leyenda: H= Punto de Control/ Hold point W= Control Visual/ Witness point R= Se requieren registros/ Records of I& T to be provided

### GRÁFICO 080 PLAN DE CONTROL DE CALIDAD – SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE

(Fuente: Procedimiento GE-AGM-3P-01010102-MPR-026-R5 – Sostenimiento con shotcrete)

El primer plan de control mostrado, se elaboró para anexarlo al procedimiento de trabajo específico en esta etapa del sostenimiento con shotcrete. Este plan permite a los supervisores de campo y personal operativo conocer, difundir, coordinar y aplicar los controles estipulados para las distintas fases de la actividad de sostenimiento con shotcrete.



El plan de control siguiente (para Laboratorio), se elaboró con la misma finalidad del primero, pero es más específico respecto a los ensayos que deben realizarse a los materiales componentes de la mezcla, a la misma mezcla elaborada y después de que la mezcla endureció. Permite a la supervisión (interna y externa) poder tener control estricto de las frecuencias de los ensayos de laboratorio a realizar.

Todo esto porque el área de Control de Calidad y Laboratorio pertenecían a distintas jefaturas.

ASTALDI GYM CONSORCIO RIO MANTARO		PLAN DE CONTROL DE CALIDAD CONCRETO LANZADO (SHOTCRETE) PCQ-LAB-002-CL-rev.1						Cerro del Águila SGI-CRM-GC-025-PCQ Rev. 3 Fecha: 16/09/2013			
Cliente: CERRO DEL AGUILA S.A.		Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERIA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCION PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA		Obra: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA		Página 1 de 4					
PREPARADO POR (RCL):		VERIFICADO POR (RUT):		APROBADO POR (PM):		FECHA: 09/07/2014					
N°	FASE DEL PROCESO	CARACTERÍSTICAS DE LAS PRUEBAS/ INSPECCIONES Y ENSAYOS	Tipo de Prueba	CRITERIOS DE ACEPTACION	FRECUENCIA	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	REGISTROS PARA EMITIR / VERIFICAR	EQUIPO UTILIZADO	RESPONSABILIDADES		
1.1	1. EXPLORACION DE CANTERA	Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por Cantera	ASTM C40 MTC E213	SGI-CRM-LAB-C-005-IOAF	Colorímetro de Gardner	X		
1.2		Terrones de arcilla y partículas friables	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por Cantera	ASTM C142 MTC E212	SGI-CRM-LAB-C-026-TAPP	Tamices Estándar	X		
1.3		Partículas Livianas	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por Cantera	ASTM C123 MTC E211	Emitido por Laboratorio Externo	-----	X		
1.4		Durabilidad en Sulfato de Magnesio (Agregado grueso y fino)	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por Cantera	ASTM C88 MTC E209	SGI-CRM-LAB-C-028-DSM	Tamices Estándar Sulfato de Magnesio	X		
1.5		Abrasión en Máquina "Los Angeles" al desgaste de tamaños menores de 37.5 mm (1½")	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por Cantera	ASTM C131/C335 MTC E207	Emitido por Laboratorio Externo	-----	X		
1.6		Equivalente de Arena, suelos y Agregados Finos	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por Cantera	ASTM D2419 MTC E114	SGI-CRM-LAB-C-004-EQA	Equipo Equivalente de Arena	X		
1.7		Determinación de la Reactividad del Agregado / Alkali	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por Cantera	ASTM C1260	Emitido por Laboratorio Externo	-----	X		
1.8		Examen Petrográfico	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por Cantera	ASTM C295	Emitido por Laboratorio Externo	-----	X		
1.9		Análisis Granulométrico del material de Cantera	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por Cantera	ASTM C117/D422/D2216 MTC E202/E107/E108	SGI-CRM-LAB-C-020-AGST	Tamices estándar	X		
2.1	2. PRODUCCION DE AGREGADOS	Análisis Granulométrico del Agregado Fino	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por semana según producción	ASTM C177/C136 MTC E202/E204	SGI-CRM-LAB-C-002-AGAF	Tamices estándar	X		
2.2		Equivalente de Arena (Agregados Finos)	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por semana según producción	ASTM D2419 MTC E114	SGI-CRM-LAB-C-004-EQA	Equipo Equivalente de Arena	X		
2.3		Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por semana según producción	ASTM C128 MTC E205	SGI-CRM-LAB-C-007-GEAF	Picnómetro Balanza	X		
2.4		Impurezas Orgánicas en el Agregado fino	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por semana según producción	ASTM C40 MTC E213	SGI-CRM-LAB-C-005-IOAF	Colorímetro de Gardner	X		
2.6		Peso Unitario y Vacíos de los Agregados	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por semana según producción	ASTM C29 MTC E203	SGI-CRM-LAB-C-009-PUVA	Balanza Medidas para peso unitario	X		
	3. DISEÑOS DE CONCRETO	Diseño de Mezcla	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por Diseño	ACI 211 ASTM C143 MTC E705	SGI-CRM-LAB-C-006-DIM	Mezcladora	X		
3.1		Análisis Granulométrico del agregado Fino	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por diseño según producción	ASTM C33/C136 MTC E202/E204	SGI-CRM-LAB-C-002-AGAF	Tamices estándar	X		
		Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por diseño según producción	ASTM C128 MTC E205	SGI-CRM-LAB-C-007-GEAF	Picnómetro Balanza	X		



3.3		Peso Unitario y Vacío de los Agregados	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por diseño según producción	ASTM C29 MTC E203	SGI-CRM-LAB-C-009-PUVA	Balanza Medidas para peso unitario	X		
3.4		Peso Unitario y Contenido de Aire del Concreto Fresco	H/R	EE.TT del Proyecto	Cuando sea requerido	ASTM C231 ASTM C138 MTC E714	SGI-CRM-LAB-C-014-PUFC	Moide de prueba Olla Washington	X		
3.6		Tiempo de Fraguado del Concreto	H/R	EE.TT del Proyecto	Cuando sea requerido	ASTM C403	SGI-CRM-LAB-C-010-TFC	Penetrómetro	X		
3.9		Resistencia a Compresión de Testigos cilíndricos	H/R	EE.TT del Proyecto	A edades requeridas	ASTM C29 MTC E704	SGI-CRM-LAB-C-016-RECP	Prensa Hidráulica	X		
3.10		Control de Calidad del Agua	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno cada 6 meses	PCQ-LAB-005-CA	Emitido por Laboratorio Externos	-----	X		
4.1	<b>4. CONTROL DE CONCRETO FRESCO</b>	Toma de Muestra para prueba de compresión (todos los tipos de Shotcrete)	H/R	EE.TT del Proyecto	Un muestreo cada 500m <sup>3</sup> o uno por cada día	ASTM C1140	SGI-CRM-LAB-C-011-CCST	Moldes de paneles	X	X	
4.2		Toma de Muestra para prueba de absorción de energía (Shotcrete con fibra)	H/R	EE.TT del Proyecto	Un muestreo cada 5000 m <sup>3</sup>	ASTM C1140 EN 14488-5-1999	SGI-CRM-LAB-C-011-CCST	Moldes de Paneles	X	X	
4.3		Control de asentamiento	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por mixer en planta y/o en obra	ASTM C143 MTC E705	SGI-CRM-LAB-C-011-CCST	Cono de Arahums	X	X	
4.4		Temperatura de concreto fresco / Temperatura ambiente.	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno por mixer en planta y/o en obra	ASTM C1064	SGI-CRM-LAB-C-011-CCST	Termómetro	X	X	
4.5		Contenido de Humedad de los Agregados	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno antes de cada vaciado	ASTM D2216 /D4944 /C70 MTC E108/E126	SGI-CRM-LAB-C-013-CHA	Eslufa Speedy	X	X	
4.6		Peso Unitario	H/R	EE.TT del Proyecto	Cuando sea requerido	ASTM C138 MTC E714	SGI-CRM-LAB-C-014-PUFC	Moide de prueba	X	X	
4.7		Contenido de Aire del concreto fresco	H/R	EE.TT del Proyecto	Cuando sea requerido	ASTM C231	SGI-CRM-LAB-C-014-PUFC	Olla Washington	X	X	
4.8		Tiempo de Fraguado del Concreto	H/R	EE.TT del Proyecto	Cuando sea requerido	ASTM C403	SGI-CRM-LAB-C-020-TFC	Penetrómetro	X	X	
5.1	<b>5. CONTROL DE CONCRETO ENDURECIDO</b>	Resistencia a la Compresión de núcleos (03 por edad)	H/R	EE.TT del Proyecto	2 muestras a edad de 8 horas, 3 y 28 días	ASTM C42 MTC E704	SGI-CRM-LAB-C-016-RECP	Prensa Hidráulica	X	X	
5.2		Ensayo de Absorción de energía (PANELES EFNARC)	H/R	EE.TT del Proyecto	Cada 5000 m2 con edad de rotura ≥ 28 días	EN 14488-5-1999	Emitido por Laboratorio Externo y/o Interno.	-----	X	X	
5.3		Resistencia a la compresión de núcleos extraídos IN SITU	H/R	EE.TT del Proyecto	Cuando sea requerido	ASTM C42 / C1140	SGI-CRM-LAB-C-017-EECN	Extractor de núcleos Pie de Rey Prensa hidráulica	X	X	

SGI-CRM-GC-025-PCQ (\*) **Legenda:** H= Punto de Control/ Hold point W= Control Visual/ Witness point R= Se requieren registros/ Records of I & T to be provided

### GRÁFICO 081

## PLAN DE CONTROL DE CALIDAD PARA LABORATORIO – SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE

(Fuente: Procedimiento GE-AGM-3P-01010102-MPR-026-R5 – Sostenimiento con shotcrete)

### 3.2.3.2.2. Diseño de mezcla – Control de Materiales:

La calidad de los materiales componentes, influye directamente en las propiedades finales de la mezcla elaborada.

Las principales diferencias entre el concreto convencional y el concreto lanzado son la cantidad de cemento empleado, la granulometría del agregado, el modo de vaciado y los aditivos utilizados.

El diseño de mezcla del concreto lanzado estuvo basado en la norma ACI 506R (Guide to Shotcrete), además de considerar parámetros como que la mezcla sea capaz de ser transportada sin perder su trabajabilidad, reducir al mínimo el rebote de la mezcla durante su aplicación y satisfacer las resistencias solicitadas a edades tempranas y a largo plazo.

La dosificación de los materiales componentes de la mezcla se realizó a través de la planta de concreto instalada en obra, mediante uso de balanzas y caudalímetros calibrados. El diseño elaborado presenta su dosificación por peso.

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO		Cerro del Águila		
<b>DISEÑO DE MEZCLAS</b>		SGI-CRM-LAB-C-006-01M Rev. 2 Fecha: Octubre 2, 2013		
Método del Comité 211 del ACI		Páginas: 1/1		
Cliente: CERRO DEL ÁGUILA S.A.	Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERÍA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCIÓN PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL ÁGUILA	Obra: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL ÁGUILA		
Tipo de mezcla	: SHOTCRETE - Fibra Metálica	N° Reporte	: SH.fm.200.10	
Código de diseño	: SH-fm-200-10	Fecha	: 11/05/2014	
Resistencia mínima a la compresión a 28 días	: 20 MPa	TECNICO	: David Jara Rosales	
Relación agua/cemento	: 0.45			
Asentamiento	: 7" - 10"			
<b>Tipo de Materiales:</b>				
Cemento	: ANDINO TIPO IP			
Agregados	: ARENA CHANCADA DE TÚNELES SECTOR CASA DE MÁQUINAS			
Agua	: TOMA LIMONAR			
<b>Peso específico de materiales (Kg/m³)</b>				
Cemento			2980	
Aditivo Viscocrete 1110 PE	1.2 %		1060	
Aditivo Sigit L-60 AF	7%		1370	
Fibra metálica DRAMIX 65-35BG			7850	
<b>Características del Agregado</b>				
Tamaño máximo (mm)			4.75	
Módulo de Fineza			3.1	
Peso Especifico Material SSS (kg/m³)			2721	
Peso Unitario Suelto (kg/m³)			1620	
Peso Unitario Compactado (kg/m³)			1792	
Absorción (%)			0.90	
Humedad (%)			0.00	
<b>DISEÑO EN SECO</b>				
Cemento (Kg)			467.5	
Agregado (Kg)			1537.6	
Aditivo visocrete 1110PE (Kg)			5.6	
Aditivo Sigit L-60 AF (Kg)			32.7	
Fibra metálica DRAMIX 65/35BG (Kg)			30.0	
Agua (L)			210.0	
P.U. teórico (Kg/m³)			2283	
<b>SLUMP 9"</b>				
Resultado de ensayo de esfuerzo a la compresión de núcleos de concreto de 2 1/2" a 4" de diámetro (kg/cm²)				
	P1	P2	P3	PROMEDIO
Para 48 Horas	59.9 kg/cm²	61.6 kg/cm²	68.6 kg/cm²	63 kg/cm²
Para 72 Horas	163.0 kg/cm²	162.0 kg/cm²	181.3 kg/cm²	169 kg/cm²
Para 28 Días	237.0 kg/cm²	226.8 kg/cm²	208.7 kg/cm²	224 kg/cm²

**GRÁFICO 082**  
**DISEÑO DE MEZCLA USADO PARA EL SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE DEL PIQUE DE PRESIÓN**  
(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

Se redacta a continuación los ensayos realizados para la elaboración del diseño de mezcla para shotcrete:

#### Análisis granulométrico del agregado fino:

#### **Importancia:**

Una granulometría adecuada permitirá una adecuada trabajabilidad de la mezcla e influye directamente en el costo de la mezcla elaborada pues ocupan el 60 a 70% del concreto.<sup>4</sup>

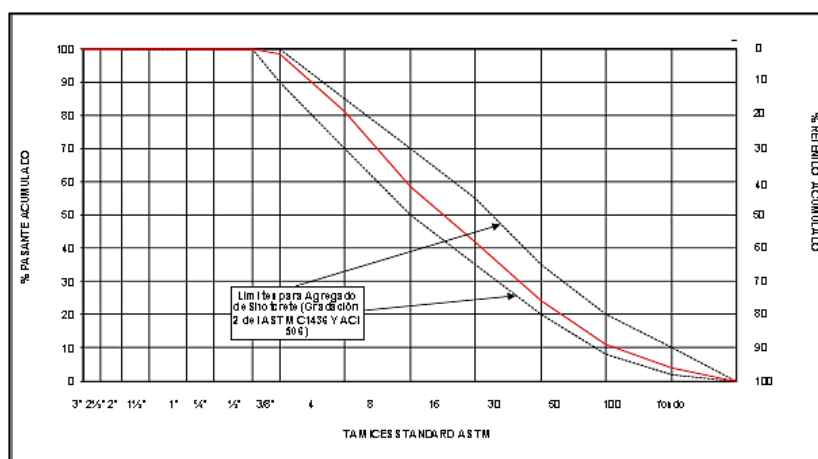
<sup>4</sup>. Portland Cement Association, "Diseño y control de mezclas de concreto", 2004.

En el caso del shotcrete, un exceso de material mayor al indicado será propenso a segregarse e incrementará el “rebote” durante el lanzado, y caso contrario, un exceso de material más fino, demandará más agua para la mezcla.

Sieve size, U.S. standard square mesh	Percent by weight passing individual sieves	
	Grading No. 1	Grading No. 2
3/4 in. (19 mm)	—	—
1/2 in. (12 mm)	—	100
3/8 in. (10 mm)	100	90 to 100
No. 4 (4.75 mm)	95 to 100	70 to 85
No. 8 (2.4 mm)	80 to 98	50 to 70
No. 16 (1.2 mm)	50 to 85	35 to 55
No. 30 (600 $\mu$ m)	25 to 60	20 to 35
No. 50 (300 $\mu$ m)	10 to 30	8 to 20
No. 100 (150 $\mu$ m)	2 to 10	2 to 10

**TABLA 007**  
**LÍMITES DE LOS PORCENTAJES EN PESO PASANTE DEL AGREGADO FINO**

(El huso o gradación empleada en obra fue la N° 2)  
(Fuente: NORMA ACI 506R\_05 – Guide to shotcrete)



**GRÁFICO 083**  
**CURVA GRANULONÉTRICA OBTENIDA DE LA ARENA CHANCADA PARA SHOTCRETE – Dentro del Huso N° 2 de la norma ACI 506R\_05**  
(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

### Equivalente de arena:

**Importancia:** El equivalente de arena permite conocer que fracción de la muestra del agregado está constituida por partículas finas o polvo de arena. La



excesiva presencia de estas partículas finas puede interferir en la correcta hidratación del cemento, afectar la correcta unión de la pasta y el agregado, y ser causante de bajas resistencias de la mezcla endurecida.<sup>5</sup>

Los límites del porcentaje de equivalente de arena requerido según la norma EG 2013, son los siguientes:

Para concretos con  $F'c \geq 210 \text{ kg/cm}^2$ , el porcentaje mínimo de equivalente de arena es 75%.

Para concretos con  $F'c \leq 210 \text{ kg/cm}^2$ , el porcentaje mínimo de equivalente de arena es 65%.

El resultado del ensayo mostrado a continuación (agregado empleado en el diseño de mezcla para shotcrete), cumple con esta última condición de la norma:

 <b>CONSORCIO RIO MANTARO</b>		<b>LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO</b> <b>EQUIVALENTE DE ARENA, SUELOS Y AGREGADOS FINOS</b> ASTM D2419 MTC E114		 SGI-CRM-LAB-C-004-EQA Rev. 2 Fecha: Octubre 2013	
Cliente: CERRO DEL AGUILA S.A.		Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERIA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCION PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA		Obra: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA Páginas: ____/____	
CANTERA: TÚNEL - SECTOR CASA DE MÁQUINAS MATERIAL: AGREGADO FINO CHANCADO		N° REPORTE FECHA TÉCNICO		11/05/2014 D.A.H.	
DESCRIPCION			ENSAYOS		
Muestra			N°1	N°2	N°3
Tamaño máximo (mm)			4.75	4.75	4.75
Hora de entrada a saturación			10:00	10:02	10:04
Hora de salida de saturación (mas 10')			10:10	10:12	10:14
Hora de entrada a decantación			10:12	10:14	10:16
Hora de salida de decantación (mas 20')			10:32	10:34	10:36
Altura máxima de material fino (Pulg.)			7.7	7.9	7.6
Altura máxima de la arena (Pulg.)			6.3	6.4	6.2
Equivalente de Arena (%)			81.8	81.0	81.6
PROMEDIO (%)			81.5		
* Según: EG 2013    Mínimo 65% de Equivalente de arena    Para diseño de mezclas $\geq 210 \text{ kg/cm}^2$					

**GRÁFICO 084**

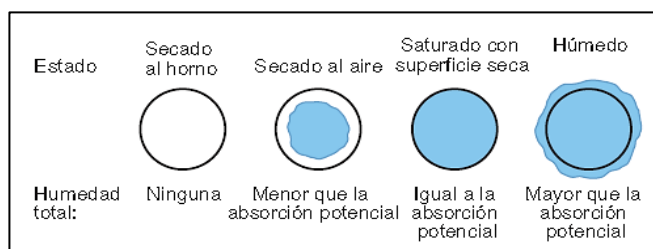
## RESULTADO DEL ENSAYO - EQUIVALENTE DE ARENA PARA EL AGREGADO EMPLEADO EN LA MEZCLA LANZADA EN EL PIQUE DE PRESIÓN

(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

### Gravedad específica y absorción del agregado fino:

**Importancia:** La gravedad específica del agregado permite conocer su calidad como agregado, y realizar los correctos cálculos (en peso o volumen) dentro del diseño de mezcla. En tanto, la absorción del agregado influye directamente en la relación agua/cemento (calidad de la mezcla).<sup>6</sup>

<sup>5,6</sup>. Portland Cement Association, "Diseño y control de mezclas de concreto", 2004.






**GRÁFICO 085**

### CONDICIONES DE HUMEDAD DEL AGREGADO

(Fuente: “Diseño y control de mezclas de concreto” – Portland Cement Association)

En la gráfica a continuación, se muestra el resultado del ensayo de Gravedad específica y Absorción del agregado fino empleado para la elaboración del diseño de mezcla del shotcrete utilizado en las labores de sostenimiento dentro del Pique de presión:

  <b>CONSORCIO RIO MANTARO</b>		<b>LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO</b>		 <b>SGL-CRM-LAB-C-007-GEAF</b>	
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</b> NORMA ASTM C128 - MTC E205		<b>Rev.2</b> Fecha: Octubre 2, 013		Página: <u>1</u> / <u>1</u>	
Cliente: CERRO DEL ÁGUILA S.A.		Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERIA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCIÓN PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL ÁGUILA		Obra: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL ÁGUILA	
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>					
CANTERA : TUNELES SECTOR CASA DE MÁQUINAS		REPORTE N°		CDM.SH.fm.200.10.2	
MATERIAL : AGREGADO FINO CHANCADO		FECHA		: 11/05/2014	
PARA DISEÑOS : "CDM-SH-fm-200-10"		TECNICO		: D.J.J. R.	
<b>AGREGADO FINO</b>					
		M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO
A	Peso muestra saturada con superficie seca (g)	500.1	502.0		
B	Peso fola o frasco con agua (g)	680.6	684.3		
C	Peso muestra saturada dentro del agua + fola o frasco (g)	996.9	1001.8		
D	Peso muestra seca en horno @ 105°C (g)	495.8	497.4		
E	Peso muestra saturada dentro del agua (g)	316.3	317.5		
	Peso específico de masa - P.E.M. (g/cm3)	2.697	2.696		
	<b>PESO ESPECÍFICO DE MASA S.S.S. (g/cm3)</b>	<b>2.721</b>	<b>2.721</b>		<b>2.721</b>
	Peso específico aparente - P.E.A. - (g/cm3)	2.762	2.765		
	<b>ABSORCIÓN (%)</b>	<b>0.87</b>	<b>0.92</b>		<b>0.90</b>

**GRÁFICO 086**

### RESULTADOS DEL ENSAYO – GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

El valor del Peso o Gravedad específica obtenido, sirvió como dato para los cálculos del diseño de mezcla (conocer el volumen ocupado por el agregado dentro de 1m<sup>3</sup> de mezcla).

La mayoría de los agregados normales tienen masas específicas relativas que varían de 2.4 a 2.9 gr/cm<sup>3</sup>.<sup>7</sup>

<sup>7</sup>. Portland Cement Association, “Diseño y control de mezclas de concreto”, 2004.





Para el caso de la Absorción del agregado, este dato permite ajustar la cantidad de agua necesaria a dosificar durante la preparación de la mezcla.

Los agregados grueso y fino generalmente tienen niveles de absorción (contenido de humedad a SSS – Saturado con Superficie Seca) que varían del 0.2% al 4% y del 0.2% al 2%, respectivamente.<sup>8</sup>

### Peso unitario y vacío del agregado:

**Importancia:** Los valores determinados al efectuar el ensayo permiten realizar los correctos cálculos (en peso o volumen) dentro del diseño de mezcla. Es el volumen ocupado por los agregados y por los vacíos entre las partículas del mismo. Estos vacíos aumentan si el agregado es más angular y requerirá más pasta para llenarlos.

En la siguiente gráfica se muestran los valores obtenidos para este ensayo, dichos valores fueron tomados para la elaboración del diseño de mezcla de shotcrete:

 ASTALDI CONSORCIO RIO MANTARO		LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO		 SGI-CRM-LAB-C-009-PUVA Rev. 2 Fecha: Octubre 2, 2013	
Cliente: CERRO DEL ÁGUILA S.A.		Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERIA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCION PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL ÁGUILA		Obras: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL ÁGUILA Páginas: 1 / 1	
CANTERA : TUNELES SECTOR CASA DE MAQUINAS				N° REPORTE : CDM.SH.fm.200.10.3	
MATERIAL : AGREGADO FINO CHANCADO				FECHA : 11/05/2014	
PARA DISEÑOS: "CDM-SH-fm-200-10"				TECNICO : DAVID AYLAS HERENCIA	
AGREGADO GRUESO					
DESCRIPCION		PESO UNITARIO SUELTO (kg/m³)		PESO UNITARIO COMPACTADO (kg/m³)	
		1	2	3	4
Peso del recipiente + muestra (g.)					
Peso del recipiente (g.)					
Peso de la muestra (g.)					
Volumen (cc)					
Peso unitario suelto (g/cc)					
PROMEDIO (g/cc)					
AGREGADO FINO					
DESCRIPCION		PESO UNITARIO SUELTO (kg/m³)		PESO UNITARIO COMPACTADO (kg/m³)	
		1	2	3	4
Peso del recipiente + muestra (g.)		13955	13963	15177	15184
Peso del recipiente (g.)		2456	2456	2456	2456
Peso de la muestra (g.)		11499	11507	12721	12728
Volumen (cc)		7099	7099	7099	7099
Peso unitario suelto (g/cc)		1.620	1.621	1.792	1.793
PROMEDIO (g/cc)		1.620		1.792	

### GRÁFICO 087 RESULTADOS DEL ENSAYO – PESO UNITARIO Y VACÍO DEL AGREGADO

(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

La masa volumétrica aproximada del agregado comúnmente usado en el concreto de peso normal varía de 1200 a 1790 kg/m³.<sup>9</sup>


<sup>8,9</sup>. Portland Cement Association, “Diseño y control de mezclas de concreto”, 2004.



### Peso unitario y contenido de aire del concreto fresco:

**Importancia:** El peso unitario y contenido de aire de la mezcla permite conocer el rendimiento de la misma al ser preparada, comparada con el peso unitario teórico (de diseño).


En la gráfica siguiente, se muestran los resultados obtenidos para la mezcla durante la etapa de estudio (diseño):



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO

NORMA ASTM C138 MTC E714



Rev.2

Fecha: Octubre 2, 2013

Página: 1 / 1

Código: CERRO DEL ÁGUILA S.A.

Código: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERÍA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCIÓN PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL ÁGUILA

Proy: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL ÁGUILA

CANTERA : TUNEL CASA DE MAQUINA

MATERIAL : AGREGADO FINO CHANCADO

DISEÑO : "CDM-SH.fm.200-10"

REPORTE N° : "CDM.SH.fm.200.10-04"

FECHA : 11/05/2014

TECNICO : DAVID JARA ROSALES

PESO UNITARIO

DESCRIPCIÓN	UND	RESULTADOS
Peso del recipiente + muestra	(Kg)	18643
Peso del recipiente	(Kg)	2456
Peso de la muestra	(Kg)	16187
Volumen de recipiente	(m³)	7099
Peso unitario real	(Kg/m³)	2280
Peso unitario teórico	(Kg/m³)	2283
RENDIMIENTO		0.999

CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO

DESCRIPCIÓN	UND	RESULTADOS
Hora de muestreo		02:35:00
Slump	(pulg)	9 *
Temperatura ambiente	(°C)	28.7°
Temperatura de concreto	(°C)	27.4°
CONTENIDO DE AIRE		3.6

**GRÁFICO 088**

### **RESULTADOS DEL ENSAYO – PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO**

(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

El rendimiento común de una mezcla varía entre el 90 y 100%.

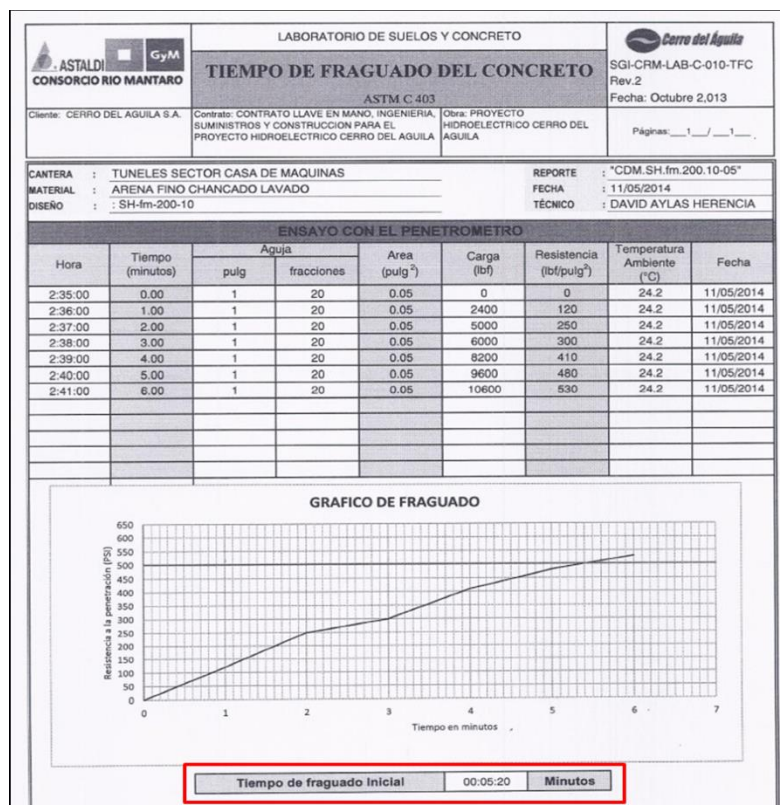
El contenido de aire esperado para un asentamiento de 7 a 10" y contenido de agua por m3 de mezcla de 210 lts., no es mayor del 4%.<sup>10</sup>

### Tiempo de fraguado del concreto:

**Importancia:** Permite conocer la compatibilidad del cemento y aditivo acelerante utilizados para una relación a/c determinada.

<sup>10</sup>. Portland Cement Association, "Diseño y control de mezclas de concreto", 2004.

A continuación se muestra el resultado obtenido para la mezcla diseñada en obra:



**GRÁFICO 089**  
**RESULTADOS DEL ENSAYO – TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL DE LA MEZCLA**  
(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

Este valor obtenido (500 psi a los 05'20"), está dentro de los requerimientos indicados en las especificaciones técnicas del proyecto:

- Resistencia a la penetración para fraguado inicial: 500 psi (3.5 Mpa).
- Tiempo de fraguado inicial: 3 minutos ( $\pm 100\%$ , es decir de 0 a 6 minutos).

### Resistencia a compresión de testigos cilíndricos:

**Importancia:** Permite conocer la resistencia de la mezcla ante la carga axial.

Se muestra a continuación los resultados de los ensayos de resistencia ejecutados para las muestras de mezcla preparadas en la elaboración del diseño de mezcla:

ASTALDI

GyM

CONSORCIO RIO MANTARO

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

ENSAYO DE ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE NÚCLEOS DE CONCRETO LANZADO

NORMAS: ASTM C31 / ASTM C39 / ASTM C42

Cliente: CERRO DEL AGUILA S.A.

Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERÍA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCIÓN PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA

Obr: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA

SGI CRM-LAB-C-017-EECN

Rev.3

Fecha: Octubre 2,013

Páginas: 1 de 1

DISEÑO DE MEZCLA :

"CDM-SH-fm-200-10"

TIPO DE MEZCLA:

SHOTCRETE - Fibra Metálica

REPORTE N° :

CDM-SH-fm-200-10.6

AGREGADOS :

ARENA CHANCADA DE TUNELES CDM

ADITIVOS :

VISCOCRETE 1110 PE - SIGUNIT L-60

FECHA :

08/06/2014

ITEM	UBICACION / ELEMENTO	CÓDIGO DE PROBETA	CÓDIGO DE DISEÑO	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (horas / días)	DIÁMETRO "D" (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	ALTURA "H" (cm)	PESO (g)	ESBELTEZ H/D	CARGA (kg)	FACTOR DE CORRECCIÓN POR ESBELTEZ	RESISTENCIA CORREGIDA (kg/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> (%)	PROMEDIO (%)
1	DISEÑO DE MEZCLA	1	SH-fm-200-10	200	11/05/14	11-may	8 HORAS	7.80	47.78	13.10	1416	1.6795	2940	0.9744	59.9	63.4	30.0%	31.7%
2		2						7.80	47.78	13.20	1408	1.6923	3020	0.9754	61.6		30.8%	
3		3						7.80	47.78	13.20	1409	1.6923	3060	0.9754	66.6		34.3%	
4		4						7.80	47.78	12.90	1372	1.6838	8010	0.9723	163.0		81.5%	
5		5				14-may	3 DÍAS	7.80	47.78	12.80	1262	1.6419	7970	0.9713	162.0	168.8	81.0%	81.2%
6		6						7.80	47.78	12.80	1343	1.6419	8920	0.9713	181.3		90.7%	
7		7						7.80	47.78	12.70	1385	1.6282	11670	0.9703	237.0		118.6%	
8		8				08-jun	28 DÍAS	7.80	47.78	12.70	1373	1.6282	11179	0.9703	226.8	234.2	113.4%	116.9%
9		9						7.80	47.78	12.60	1351	1.6154	10290	0.9692	208.7		104.4%	

De acuerdo a ASTM C42: 3 MPa en 8 horas, 12 MPa en 72 horas, 20 MPa en 28 días

**GRÁFICO 090**  
**RESULTADOS DEL ENSAYO – RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILÍNDRICOS**  
(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

Se puede verificar que las resistencias cumplen los requisitos estipulados en las especificaciones técnicas del proyecto:

- 3 MPa (equivalente ~ 30 kg/cm<sup>2</sup>) a las 8 horas.
- 12 MPa (equivalente ~ 120 kg/cm<sup>2</sup>) a los 3 días.
- 20 MPa (equivalente ~ 200 kg/cm<sup>2</sup>) a los 28 días.

### CONTROL DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA:



**GRÁFICO 091**  
**COMPONENTES DE LA MEZCLA PARA SHOTCRETE**  
(Fuente: Propia)

### **AGREGADO**

Se empleó un agregado, proveniente de la roca fracturada en la excavación de los túneles, posteriormente estos fragmentos de roca fueron triturados al tamaño requerido y lavados en la planta chancadora instalada en obra.

#### **- INSPECCIÓN DE MATERIAL Y ALMACENAMIENTO:**

El control del material aprobado en los lugares de acopio, se realiza de manera rutinaria, apreciando visualmente si se encuentra cubierto, aislado del suelo y no contaminado. Así mismo es importante evitar la segregación del agregado cuando las pilas de material son conformadas, y cuando se toma el material para preparar la mezcla. Por último y no menos importante es el control de la humedad del agregado, ya que ésta aporta porción de agua a la mezcla a preparar.

#### **- ENSAYOS AL MATERIAL:**

Las exigencias requeridas para el control de materiales a través de ensayos de laboratorio se realizaron según lo indicado en el PCQ respectivo (**ver Gráfico 081**).

Los agregados usados en un diseño de mezcla de concreto, deben tener el tamaño y forma adecuada, ser limpios, resistentes, durables y estar libres de sustancias perjudiciales que puedan alterar la composición y/o comportamiento de la mezcla preparada.

### **CEMENTO**

El shotcrete producido fue con cemento portland Tipo I, cemento controlado conforme a la norma ASTM C 150.

#### **- INSPECCIÓN DE MATERIAL Y ALMACENAMIENTO:**

La inspección de este material se realizaba desde su llegada a obra, donde se recepcionó junto con el certificado de calidad emitido por el fabricante.

Cuando el cemento estuvo empaquetado en bolsas, fue cuidadosamente transportado y almacenado, asilándolo del suelo y protegiéndolo de la exposición a la humedad.

Cuando el cemento fue llevado a granel, este fue transportado en bombonas (especie de cisternas) y trasegado hacia silos herméticos al lado de la planta de concreto presente en obra.





Se controló el uso programado del cemento, cuidando de utilizar el material en el mismo orden cronológico de su llegada a obra.

### - ENSAYOS AL MATERIAL:

Las exigencias requeridas para el control de materiales a través de ensayos de laboratorio se realizaron según lo indicado en el PCQ.

El certificado de calidad normalmente era emitido por la entidad fabricante del cemento.

Se estableció el siguiente Plan de Control de Calidad (PCQ) para este material:

 <b>CONSORCIO RIO MANTARO</b>		<b>PLAN DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>-CEMENTO-</b> <b>PCQ-LAB-004-C</b>				 <b>Sgi-CRM-GC-025-PCQ</b> Rev. 3 Fecha: 16/09/2013	
Cliente: CERRO DEL AGUILA S.A.		Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERIA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCION PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA		Obra: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA		Página 1 de 2	
PREPARADO POR (RQC): 		VERIFICADO POR (RUT): 		APROBADO POR (PME): 		FECHA: 07/07/2014	

N°	FASE DEL PROCESO	CARACTERISTICAS DE LAS PRUEBAS/ INSPECCIONES Y ENSAYOS	Tipo de Prueba (*)	CRITERIOS DE ACEPTACION	FRECUENCIA	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	REGISTROS PARA EMITIR/ VERIFICAR	EQUIPO UTILIZADO	RESPONSABILIDADES		
									Laboratorio	Control de Calidad	Cliente
1.1	1. CALIDAD DEL CEMENTO	Muestreo	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno cada 1000 TN	ASTM C183 MTC-E601	-	Equipo de muestreo	X	X	
1.2		Densidad del cemento	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno cada 1000 TN	ASTM C188 MTC-E610	Sgi-CRM-LAB-036-DCE	Frasco Volumétrico de Le Chatelier	X	X	
1.3		Finura del cemento por permeabilidad (superficie específica)	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno cada 1000 TN	ASTM C204 MTC-E613	Sgi-CRM-LAB-037-FCP	Aparato de Blaine	X	X	
1.4		Tiempo de Fraguado	H/R	EE.TT del Proyecto	Uno cada 1000 TN	ASTM C191 MTC-E606	Sgi-CRM-LAB-038-TFAV	Penetrómetro Vicat	X	X	
1.5		Resistencia a la compresión de morteros	H/R	EE.TT del Proyecto	2 muestras por edad (24h, 7 y 28 días) / cada 500 TN	ASTM C109 MTC-E609	Sgi-CRM-LAB-028-EECL	Prensa Hidráulica Moldes para cubos	X	X	

(\*) Leyenda: H= Punto de Control/ Hold point W= Control Visual/ Witness point R= Se requieren registros/ Records of I & T to be provided

**GRÁFICO 092**  
**PLAN DE CONTROL DE CALIDAD PARA EL CEMENTO**  
 (Fuente: PCQ-LAB-004-Cemento)



## INFORME DE CALIDAD

TIPO DE CEMENTO:

Portland Tipo I

Fecha:

ESPECIFICACIÓN VIGENTE:

ASTM C-150-12  
NTP 334.009

Primera Quincena Enero de 2014

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

PRUEBAS FÍSICAS:	Result. Ensayo	Spec. Limite	ANÁLISIS QUÍMICO:	Result. Ensayo
1) Superficie específica (BLAINE)	m <sup>2</sup> /kg.	465.6	260 Min.	3.67 %
2) Tiempo de fraguado (VICAT)	minutos	118.0	45 Min.	6.23 %
	INICIAL	285.0	375 Máx.	2.91 %
3) Expansión Autoclave	%	0.10	0.8 Máx.	1.20 %
4) Contenido de Aire, en volumen	%	4.50	12.0 Máx.	2.91 %
<u>FASES MINERALÓGICAS SEGÚN ROGUE</u>				
5) Resistencia a la compresión	<u>Mpa</u>	Mpa	SILICATO TRICÁLCICO (C3S)	---- %
a 3 Días	16.23	12.0 Min.	SILICATO DICÁLCICO (C2S)	---- %
a 7 Días	20.70	19.0 Min.	ALUMINATO TRICÁLCICO (C3A)	---- %
a 28 Días	29.54	28.0 Min.	FERRIALUMINATO TETRACÁLCICO (C4AF)	---- %
6) Densidad	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.98	---	---

### REQUISITOS OPCIONALES

7) Falso Fraguado, penetración final	%	90.00	50 Min.	ASTM C 311 ALCALI DISPONIBLE (Calculado)	0.62 %
				PORCENTAJE ADICIÓN DE PUZOLANA	22.31 %
8) Resistencia a sulfatos				Calor de Hidratación a 7 días	63.00 Cal/g
Expansión a 180 días	%	0.012	0.10 Máx.	Calor de Hidratación a 28 días	69.00 Cal/g

**GRÁFICO 093**  
**CERTIFICADO DE CONTROL DE CALIDAD DEL CEMENTO**  
**EMPLEADO**  
(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

## AGUA

El agua utilizada en obra fue estudiada conforme a la norma ASTM C 1602.

El exceso de impurezas en el agua de mezcla puede afectar el tiempo de fraguado y las resistencia del concreto, además también puede causar eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo y disminución de la durabilidad.

## - INSPECCIÓN Y ALMACENAMIENTO:

El agua estuvo almacenada en silos y bombeados hacia la mezcla, controlando el volumen proporcionado a través de un caudalímetro calibrado.

### - ENSAYOS:

Las exigencias requeridas para el control de materiales a través de ensayos de laboratorio se realizaron según lo indicado en el PCQ.


El certificado de calidad normalmente fue emitido por un laboratorio externo al cual se enviaba la muestra de la fuente de agua.

Se estableció el siguiente Plan de Control de Calidad (PCQ) para este componente:

ASTALDI CONSORCIO RIO MANTARO		PLAN DE CONTROL DE CALIDAD <b>AGUA</b> PCQ-LAB-005-A-rev.0						Cerro del Aguila				
Cliente: CERRO DEL AGUILA S.A. PREPARE: [Firma]		Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERIA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCION PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA VERIFICADO POR (RCQ): [Firma]		Obra: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA APROBADO POR (PM): [Firma]		SGI-CRM-GC-025-PCQ Rev. 3 Fecha: 16/09/2013 Página 1 de 1 FECHA: 07.07.2014						
N°	FASE DEL PROCESO	CARACTERÍSTICAS DE LAS PRUEBAS/ INSPECCIONES Y ENSAYOS	Tipo de Prueba (*)	CRITERIOS DE ACEPTACION	FRECUENCIA	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	REGISTROS PARA EMITIR/ VERIFICAR	EQUIPO UTILIZADO	RESPONSABILIDADES			
1.1	I. CALIDAD DE AGUA	Contenido de sales solubles Totales	H/R	EE.TT del Proyecto	Cada 6 meses o cuando sea requerido	NTP 339.071	Emitido por Laboratorio externo		X			
1.2		Contenido de sulfatos	H/R	EE.TT del Proyecto	Cada 6 meses o cuando sea requerido	NTP 339.074 ASTM D516	Emitido por Laboratorio externo		X			
1.3		Contenido de Cloruros	H/R	EE.TT del Proyecto	Cada 6 meses o cuando sea requerido	NTP 339.076 ASTM D512	Emitido por Laboratorio externo		X			
1.4		Sólidos en suspensión	H/R	EE.TT del Proyecto	Cada 6 meses o cuando sea requerido	ASTM D5907	Emitido por Laboratorio externo		X			
1.5		Potencial de Hidrogeno	H/R	EE.TT del Proyecto	Cada 6 meses o cuando sea requerido	ASTM D1293	Emitido por Laboratorio externo		X			
1.6		Alcalinidad Total	H/R	EE.TT del Proyecto	Cada 6 meses o cuando sea requerido	ASTM D1067	Emitido por Laboratorio externo		X			
1.7		Materia Orgánica	H/R	EE.TT del Proyecto	Cada 6 meses o cuando sea requerido	MTC 716	Emitido por Laboratorio externo		X			

SGI-CRM-GC-025-PCQ (\*) Leyenda: H= Punto de Control/ Hold point W= Control Visual/ Witness point R= Se requieren registros/ Records of I & T to be provided

**GRÁFICO 094**  
**PLAN DE CONTROL DE CALIDAD PARA EL AGUA**  
(Fuente: PCQ-LAB-006-Agua)

 **Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento** **Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción - SENCICO**

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"  
"Año de la Inversión para el Desarrollo Rural y la Seguridad Alimentaria"

**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ASFALTO**

**INFORME DE RESULTADOS (Página 01 de 01)**

EXPEDIENTE N° : 65884 - 2014  
PETICIONARIO : CONSORCIO RIO MANTARO  
ATENCIÓN : SRA. BERTHA PEREZ  
PROYECTO : PROYECTO HIDROELÉCTRICO CERRO DEL AGUILA  
UBICACIÓN : HUANCAYO  
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : SAN BORJA, 20 DE ENERO DEL 2014  
FECHA DE SOLICITUD : SAN BORJA, 20 DE ENERO DEL 2014  
FECHA DE CANCELACIÓN : SAN BORJA, 23 DE ENERO DEL 2014 (FACT. N° 040 - 35971)  
FECHA DE EMISIÓN : SAN BORJA, 31 DE ENERO DEL 2014

**ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUA**

**IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA:**  
MUESTRA : TOMA LIMONAL


ENSAYO	UNIDAD	RESULTADOS	NORMA	LÍMITES
CONTENIDO DE SALES SOLUBLES TOTALES (RESIDUO SÓLIDO)	p.p.m	216	NTP 339.071	5000 Máx.
CONTENIDO DE SULFATOS	p.p.m	162	NTP 339.074	600 Máx.
CONTENIDO DE CLORUROS	p.p.m	32	NTP 339.076	1000 Máx.
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	p.p.m	222	ASTM D5907	5000 Máx.
PH	-	7.4	ASTM D1283	5.5 - 8.0
ALCALINIDAD TOTAL	p.p.m	168	MTIC 716	1000 Máx.
MATERIA ORGÁNICA	p.p.m	0.8	MTIC 716	3 Máx.

OBSERVACIÓN : Muestra de agua provista e identificada por el peticionario.

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad. (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP 004 : 1993)

**EQUIPOS UTILIZADOS:**  
Balanza utilizada: A & D HR - 200 - 210 g. Calibrada por METROL (Certificado de Calibración N° MC - 0034 - 2014)  
Estufa utilizada: BLUE M ELECTRIC Oy-18A - 180°C. Calibrada por METROL (Certificado de Calibración N° - TC-0498-2013)

TÉCNICO LSA-LEM : Téc. P.C.M.  
FECHA DE ENSAYO : Del 29 al 31 de Enero del 2014

  
Ing. VANNA GUFFANTI  
Jefe del Laboratorio de Ensayo de Materiales

### GRÁFICO 095

## CERTIFICADO DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA PARA MEZCLA

(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

### ADITIVOS QUÍMICOS

Los aditivos utilizados en obra fueron controlados según la norma ACI 318.

En general los aditivos elegidos tienen que pasar por pruebas previas de diseño, para encontrar una dosificación adecuada, cumpliendo las recomendaciones del fabricante y las especificaciones requeridas en el proyecto.

En obra se utilizaron 02 tipos de aditivos, incorporados como parte de la mezcla preparada: Plastificante y Acelerante de fragua.

### - INSPECCIÓN DE MATERIAL Y ALMACENAMIENTO:

Los aditivos mencionados permanecían almacenados en los recipientes provenientes de fábrica (cilindros metálicos o de plástico de 200 litros y dispensador cúbico de 1000 litros).



**GRÁFICO 096**  
**ALMACENAMIENTO DE ADITIVOS EN CILINDROS Y DISPENSADOR CÚBICO**  
**(Izquierda: Adecuado almacenamiento / Derecha: Inadecuado almacenamiento)**  
(Fuente: Propia)

Se tomaron las recomendaciones de almacenamiento por parte del fabricante:

Estar protegidos de la luz directa del sol y no expuestos a altas temperaturas por un largo periodo (mayor a 30° C).

Así mismo, se verificaba visualmente que los aditivos ya en uso, no cuenten o se contaminen con sustancias extrañas que puedan alterar su composición.

Su uso fue programado, cuidando de utilizar el material en el mismo orden cronológico de su llegada a obra.

#### - ENSAYOS AL MATERIAL:

El certificado de calidad normalmente fue emitido por el fabricante del aditivo y por cada lote entregado.

**PLASTIFICANTES:** El aditivo plastificante usado en obra fue el “**Sika® Viscocrete® 1110**”, el cual otorga a la mezcla las siguientes propiedades:

- Reduce el contenido de agua solicitada para la mezcla, permitiendo reducir la relación agua/cemento y por ende permitir resistencias finales mayores.
- Mejor consistencia de la mezcla, reflejada en una mejor trabajabilidad, característica importante durante la aplicación del concreto lanzado.

**Aplicación:** Se agrega a la mezcla en la dosificación indicada según diseño aprobado, se puede mezclar junto con el agua o agregarlo después de ésta. El tiempo de mezclado es importante en esta etapa, el cual debe ser mínimo durante 60 segundos.

**ACELERANTES DE FRAGUA:** El aditivo acelerante usado en obra fue el “**Sigunit® L60 AF**”, el cual otorga a la mezcla las siguientes propiedades:

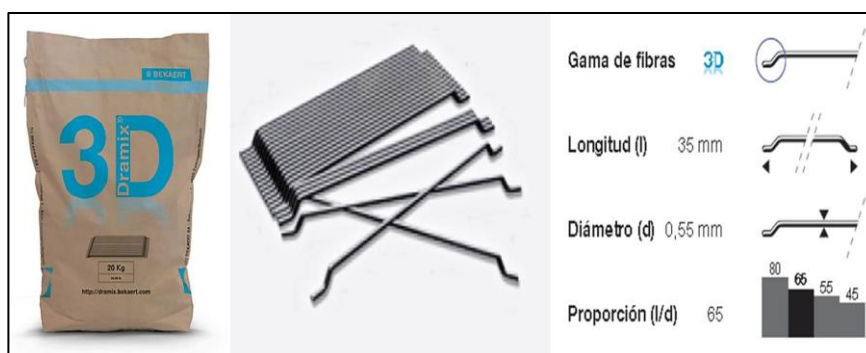
- Acelera el fraguado de la mezcla (importante por la forma de aplicación).
- Mejor resistencia inicial del concreto lanzado, en comparación de mezclas sin aditivo acelerante (esta característica es importante para el shotcrete, ya que permite su pronta puesta en servicio).
- Mejor adherencia y compactación.

**Aplicación:** Se adiciona en la mezcla justo en la salida de la misma a través de la boquilla, en la parte final del tramo de la manguera de conducción. Es importante controlar el porcentaje de aditivo acelerante indicado en el diseño de mezcla y también el recomendado por el fabricante (entre 6 a 10% del peso del cemento), ya que el exceso de este aditivo genera la reducción de las resistencias finales (disminución de 5 a 10%).

### FIBRAS ESTRUCTURALES

Las fibras utilizadas en obra fueron controladas según la norma ASTM A 820.

Las fibras estructurales empleadas en obra fueron las fibras metálicas **Dramix® 65/35** (“65/35” es la denominación que otorga el fabricante a estas fibras por la relación entre “Proporción/Longitud” de este elemento – ver gráfica siguiente).



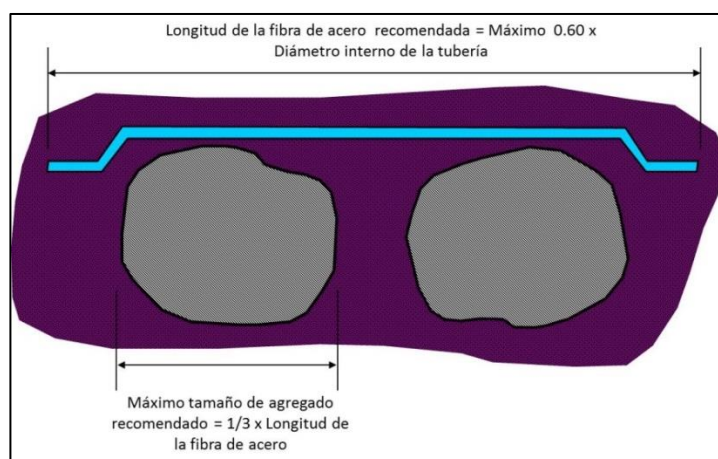
**GRÁFICO 097**  
**PRESENTACIÓN DE FIBRAS METÁLICAS**  
(Fuente: Ficha técnica Dramix® - Bekaert)



Estas fibras son fabricadas a partir de acero trefilado en frío y extremos deformados para garantizar el anclaje al concreto. Su presentación de fábrica es en pequeños grupos de fibras encoladas (pegadas) entre sí, que posteriormente son adicionadas durante la preparación de la mezcla. El adecuado batido en la preparación de la mezcla, garantiza la separación de cada fibra de su colada original y la correcta distribución de las mismas.

Una inadecuada elección de la característica geométrica de la fibra a utilizar, y una inadecuada dosificación, puede dificultar el proceso de vaciado de la mezcla. Se recomienda que la longitud de la fibra no supere el 60% el diámetro de la tubería de bombeo de concreto y controlar la cantidad de fibras necesarias a utilizar, ya que en exceso, disminuye la trabajabilidad de la mezcla.

Es común que en el diseño de concreto lanzado se utilice como máximo recomendado un 2% del volumen de fibra metálica.



**GRÁFICO 098**

**LONGITUD RECOMENDADA PARA LA FIBRA**

(Fuente: “Shotcrete: Vía Seca, Vía Húmeda - Control de Calidad” – Luciano López\_BASF Construction)

**- INSPECCIÓN DE MATERIAL Y ALMACENAMIENTO:**

Las fibras metálicas mencionados permanecían almacenados en los recipientes provenientes de fábrica (bolsas de papel con contenido de 20 kg. de fibra).

Se tomaron las recomendaciones de almacenamiento por parte del fabricante:

Mantener las bolsas en un lugar seco y protegido de la humedad, así mismo se las protegía de sustancias contaminantes que alteraran la buena adherencia al concreto.

Su uso fue programado, cuidando de utilizar el material en el mismo orden cronológico de su llegada a obra.

- ENSAYOS AL MATERIAL:

El certificado de calidad normalmente fue emitido por el fabricante de la fibra metálica y por cada lote entregado.

**3.2.3.2.3. Controles previos a la aplicación:**

**SERVICIOS:**

Previo al inicio del lanzado se debe asegurar el correcto funcionamiento de los distintos servicios que complementan el buen desempeño de los equipos y por ende de la actividad, tales como:

- Servicios eléctricos.
- Servicios de agua.
- Iluminación.
- Ventilación.
- Presión de aire comprimido.

**CONTROL DE ESPESOR DE CAPA LANZADA:**

El control del espesor colocado se realizaba mediante la instalación de pines o calibradores metálicos, los cuales tienen la longitud según la medida de espesor de shotcrete requerido, y se fijaban, previo al lanzado, al estrato rocoso mediante una mezcla de yeso+cemento, ubicados cada uno o dos metros uno de otro.

Estos calibradores servían de guía para el operador del equipo de lanzado, ya que al cubrirlos totalmente de shotcrete, se garantiza el espesor mínimo requerido y al mismo tiempo evitar espesores mayores al requerido.

Si bien ésta práctica es artesanal, permite aproximarse a obtener un espesor uniforme, el cual posteriormente sería verificado en el control de medición de espesor de shotcrete (post lanzado).



**GRÁFICO 099**  
**CALIBRADOR O PIN METÁLICO**  
(Fuente: Propia)

#### **3.2.3.2.4. Control de la mezcla fresca:**

Se controla la elaboración del concreto en la planta industrial presente en obra.

Antes de despachar la mezcla recién preparada, se realiza una inspección visual de la misma, y se mide su asentamiento y temperatura a través de la toma de una muestra del camión transportador (mixer). Una vez dado el visto bueno para la salida de planta, el mixer se traslada al punto de lanzado con una guía de despacho de la mezcla, donde se indica:

- Lugar de envío de la mezcla.
- Fecha y Hora de salida de planta.
- Slump y temperatura de la mezcla tomados en planta.
- Código de camión.
- Volumen de mezcla.
- Código de diseño de mezcla.
- Cantidad de agua y aditivo plastificante retenido.

Ya en el lugar de lanzado se recepciona la mezcla para su control antes del lanzado. Se utiliza una carretilla (recipiente no absorbente y humedecido) donde se deposita una nueva porción representativa de mezcla tomada como muestra, sobre la cual se ejecutarán los ensayos requeridos.

ASTALDI - GYM		GUÍA DE DESPACHO DE CONCRETO	
Emisor: Planta de Concreto CON-E-CO		4939	
Cliente: CHIMENEA M. I. DESCA		Aplicación:	
Estructura: [x] Concreto [ ] CCR [ ]			
Fecha: 15/08/2014	Término: 23:28:52	Salida de la Central:	
Placa del camión:	Contenido: M 11126	Chofer: MEZA ROJAS	Llegada a la obra:
Volume (m³):	MESCLA		Fin Descarga:
3	23 MPa - 34.5 MPa		Slump:
			3 m
Material	Densidad	P. T. Total	Peso Real
CEM-IP	1450 kg	11275 kg	11280 kg
ARENA CHANC	1611 kg	11277 kg	11280 kg
VISCOCRETE	2500 mL	31500 mL	31500 mL
AGUA	143 kg	1000 kg	1000 kg
Slump 9 3/4		H. de slum 23.48	
T.C. = 26"		H. de slum 15.36	
T.A. = 28"		0 + 291 - 294	
Aguá total: 1005.0 kg	Aguá Real: 1005.0 kg	Aguá Restante: 0.0 kg	
Técnico Razón Agua/Cemento 0.306	Real Razón Agua/Cemento 0.309		
Aguá en el Camión: 0.0 kg	Ajuste del Agua: 0.0 kg / carga		
Nº de Ciclos: 1	Actual Batch	Distribución de Agua: 0.0 kg / m³	
Slump 10 1/4	Retenido 9.1 Litros		
Observaciones: H. salida 23:26			
4.4 - 23:24			
T.C. = 29"			

**GRÁFICO 100**  
**GUÍA DE DESPACHO DE MEZCLA**  
(Fuente: Propia)

### CONTROL DE ASENTAMIENTO (SLUMP):

Este ensayo se realizó según lo indicado en la norma ASTM C 143. También es conocido como ensayo de revenimiento, el cual nos permite conocer la consistencia de la mezcla preparada a través de la medida del asentamiento vertical que ésta presenta al ser ensayada usando el cono de Abrams.

El asentamiento indicado en el diseño de la mezcla empleada estuvo entre el rango de 7 a 10 pulgadas. Este ensayo se realizaba rutinariamente por cada mixer que salía de planta y en su llegada al punto de vaciado o lanzado.

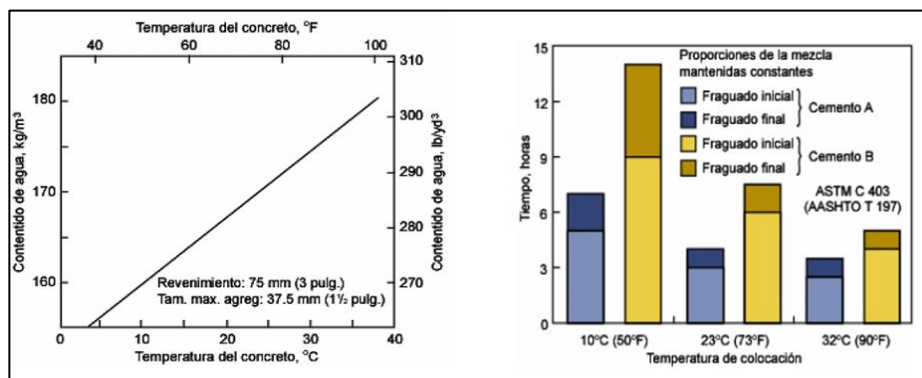


**GRÁFICO 101**  
**MEDIDA DEL ASENTAMIENTO – SHOTCRETE**  
(Fuente: Propia)

### **CONTROL DE TEMPERATURA AMBIENTE Y DE LA MEZCLA:**

Este ensayo se realizó según lo indicado en la norma ASTM C 1064. La temperatura fue medida con un termómetro debidamente calibrado. El control de este parámetro resulta de mucha importancia, puesto causa efectos directos sobre la demanda de agua de la mezcla y el tiempo de fraguado.

La temperatura máxima permitida en obra fue de 32°C.



**GRÁFICO 102**

### **EFFECTOS DE LA TEMPERATURA ELEVADA EN LA MEZCLA**

(Fuente: “Control de Calidad del Concreto – DINO S.A.)



**GRÁFICO 103**

### **MEDIDA DE LA TEMPERATURA DE LA MEZCLA**

(Fuente: Propia)

### **PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO:**

Este ensayo se realizó según lo indicado en la norma ASTM C 138.

Permite conocer la densidad o peso unitario de la mezcla preparada, y a partir de este dato el rendimiento relativo de la mezcla en comparación con su



densidad teórica de diseño. Al obtener esta información, se permite conocer si existe algún cambio significativo en el desempeño de la mezcla preparada.



**GRÁFICO 104**  
**ENSAYO DE PESO UNITARIO DE LA MEZCLA**  
(Fuente: Propia)

### **CONTENIDO DE AIRE:**

Este ensayo se realizó según lo indicado en la norma ASTM C 231 (Método de presión).

Permite conocer el porcentaje de vacíos en la mezcla, a través de aplicación de presión que comprime el aire dentro del recipiente herméticamente sellado.



**GRÁFICO 105**  
**ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE**  
(Fuente: Propia)

### **MUESTREO DE PANELES DE CONCRETO LANZADO PARA ENSAYO A COMPRESIÓN:**

Estos paneles fueron muestreados durante las operaciones de sostenimiento con shotcrete en el túnel.

Los paneles cumplieron lo indicado en la norma ASTM C 1140; se utilizaron moldes metálicos de 61cm x 61cm de lado x 15cm de profundidad, a los cuales se les lanzaba concreto hasta ser llenados y luego proceder a su curado con agua. Posteriormente, de estos moldes de shotcrete, se procedía a extraer los núcleos de concreto lanzado en su estado endurecido (según ASTM C 42) para ser ensayados a compresión.

La frecuencia de este muestreo estuvo indicada en el PCQ de Concreto Lanzado (**Ver Gráfico 081**): 01 panel de muestra cada 500 m<sup>2</sup> de concreto lanzado o uno por día, y por diseño de mezcla empleado.



**GRÁFICO 106**  
**MUESTREO DE PANELES PARA ENSAYO A COMPRESIÓN**  
(Fuente: Propia)

### **MUESTREO DE PANELES DE CONCRETO LANZADO PARA ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA:**

Estos paneles también fueron muestreados durante las de sostenimiento con shotcrete en el túnel. Los paneles cumplieron lo indicado en la norma ASTM C 1140; se utilizaron moldes metálicos de 100cm x 100cm de lado x 10cm de profundidad, a los cuales se les lanzaba concreto hasta ser llenados, estas muestras a diferencia de las muestras para ensayo a compresión, necesitan ser enrazadas para obtener una superficie lisa y proceder a su curado con agua. Posteriormente, se procedía a cortar la muestra endurecida para ser ensayada (este proceso será detallado en el ítem 3.2.3.3.6. Control de la mezcla endurecida).

La frecuencia de este muestreo estuvo indicada en el PCQ de Concreto Lanzado (**Ver Gráfico 081**): 03 paneles de muestra cada 5000 m<sup>2</sup> de concreto lanzado, y por diseño de mezcla empleado.



**GRÁFICO 107**

**MUESTREO DE PANELES PARA ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA**

**(Izquierda: Moldes listos para la toma de muestra / Derecha: Panel en proceso de enrazado)**

(Fuente: Propia)

**TIEMPO DE FRAGUADO DE LA MEZCLA:**

Este ensayo se realizó según lo indicado en la norma ASTM C 403, esto nos permite conocer la adaptabilidad de la mezcla para adherirse al sustrato y endurecer rápidamente con la incorporación del acelerante de fragua.

Los valores establecidos como parámetros de comparación para los tiempos de inicio y tiempo final del fraguado son estudiados en el laboratorio, verificando la compatibilidad del cemento, agregados y aditivo acelerante escogido.

Ya en la estructura, se realizó este ensayo durante las operaciones de lanzamiento del concreto, usando como superficie de prueba los moldes muestreados o la superficie rocosa a la que se le aplica el shotcrete.

El instrumento de medición empleado para este control es conocido como Penetrómetro, el cual es una aguja estandarizada y que cuenta con una escala de valores de resistencia a la penetración (comúnmente en libras/pulg<sup>2</sup>), el valor indicado es válido cuando la aguja penetra a la mezcla por lo menos una pulgada (25 mm).



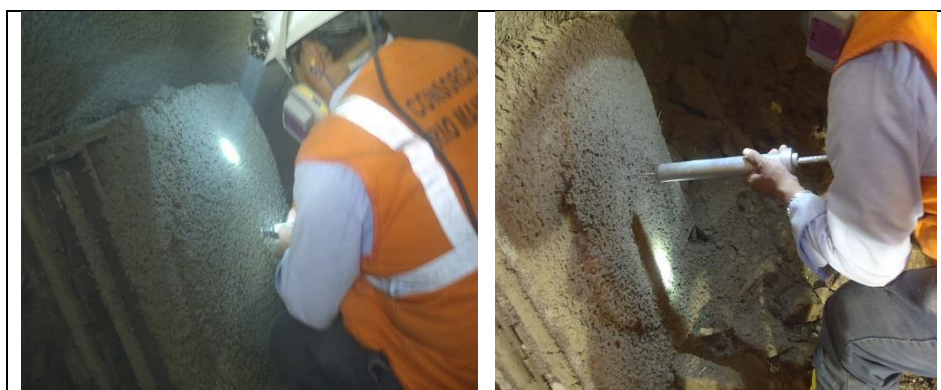
**GRÁFICO 108**

**Izquierda: PENETRÓMETRO DE BOLSILLO / Derecha:  
PENETRÓMETRO CON AGUJAS REMOVIBLES**

(Fuente: Propia)

Según las especificaciones técnicas se establecieron los siguientes valores de tiempo de fragua y resistencia a la penetración para el shotcrete:

- Tiempo de **fraguado inicial**:  
3 minutos ( $\pm 100\%$ , es decir de 0 a 6 minutos).
- Resistencia a la penetración para fraguado inicial:  
500 psi (3.5 Mpa).
- Tiempo de **fraguado final**:  
12 minutos ( $\pm 50\%$ , es decir de 6 a 18 minutos).
- Resistencia a la penetración para fraguado final:  
4000 psi (27.6 Mpa).



**GRÁFICO 109**

**ENSAYO DE FRAGUA INICIAL Y FINAL**

(Fuente: Propia)



### 3.2.3.2.5. Control en la aplicación:

#### **PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE ROCOSA:**

Antes de dar inicio al lanzado de la mezcla, se aseguraba que la superficie a ser sostenida, se encontrase libre de agentes que afecten la adecuada adherencia del shotcrete, generalmente presencia de polvo, fragmentos sueltos de roca y filtraciones de agua subterránea.

En el caso de la presencia de partículas de polvo, pequeñas piedras sueltas u otros contaminantes, se aplicaba una combinación de chorro de agua y aire a presión, utilizando el mismo equipo de proyección.

La presión del chorro de agua+aire recomendada en obra fue no inferior a 4-5 bar. Esta presión es controlada desde el manómetro instalado en el equipo de proyección.



**GRÁFICO 110**  
**LAVADO DE SUPERFICIE PREVIO AL LANZADO**  
(Fuente: Propia)

- Para el caso de presencia de agua subterránea, se realizaron taladros de drenaje o alivio, para que la escorrentía de agua sea minimizada.



**GRÁFICO 111**  
**TALADRO DE DRENAJE**  
(Fuente: Propia)



### **LANZADO DE LA MEZCLA:**

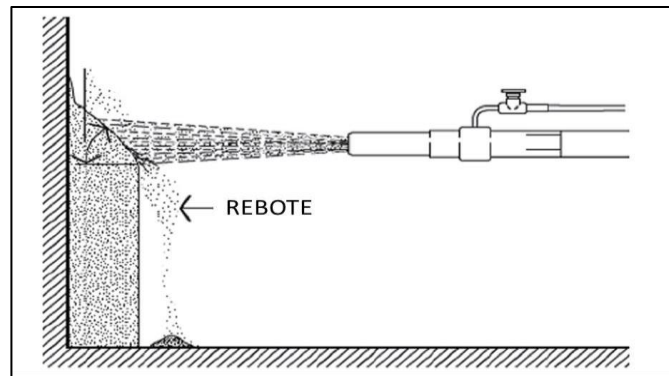
Si se realiza un exhaustivo control de los materiales y del diseño, pero la aplicación es deficiente, se va a obtener un producto defectuoso.

Es así que en esta etapa, para que la calidad del shotcrete y el correcto desempeño del mismo en la estructura sea el adecuado, se vuelve vital la educada técnica empleada por el operador y los adecuados y pertinentes controles durante la aplicación.

Una vez que el operador se ubicaba en su posición de lanzado se procederá a controlar los siguientes parámetros:

#### **REBOTE**

El rebote, es el resto de shotcrete que no se adhiere a la superficie durante el lanzado y cae al suelo.



**GRÁFICO 112**

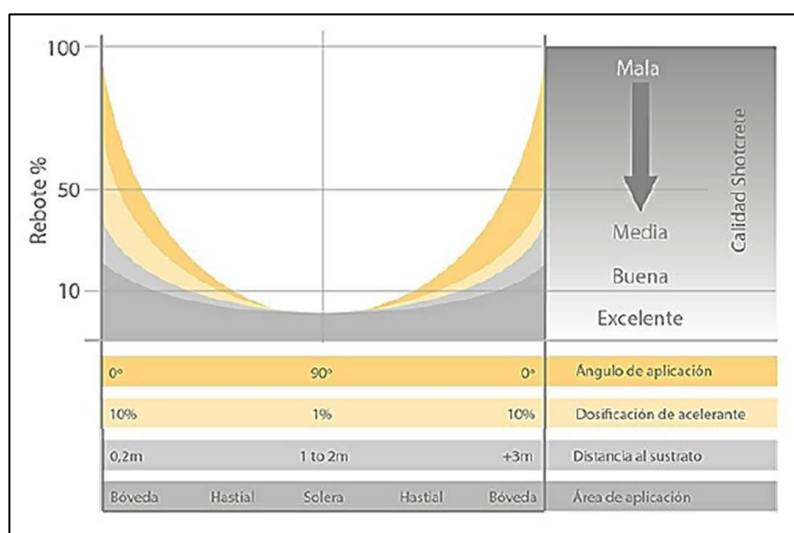
#### **CONCEPTO DE REBOTE EN EL SHOTCRETE**

(Fuente: Guía Chilena del hormigón proyectado 2a edición – ICH)

Este factor está ligado por la presencia de factores como:

- Habilidad del operador.
- La consistencia de la mezcla.
- El ángulo de aplicación.
- Posición del lanzado.
- La distancia de lanzado.
- Presión de aire en el lanzado.

Es importante controlar estas variables para reducir el rebote y el desperdicio que este ocasiona, ya que genera mayores costos y retrasos.



**GRÁFICO 113**

### FACTORES INFLUYENTES EN EL REBOTE Y EN LA CALIDAD DEL SHOTCRETE

(Fuente: “Reducir el rebote de shotcrete: claves y consejos” – Putzmeister Underground)

En el gráfico siguiente, se puede apreciar dos testigos de apariencia opuesta:



**GRÁFICO 114**

### TESTIGOS EXTRAÍDOS PARA VERIFICAR LA CALIDAD DEL SHOTCRETE

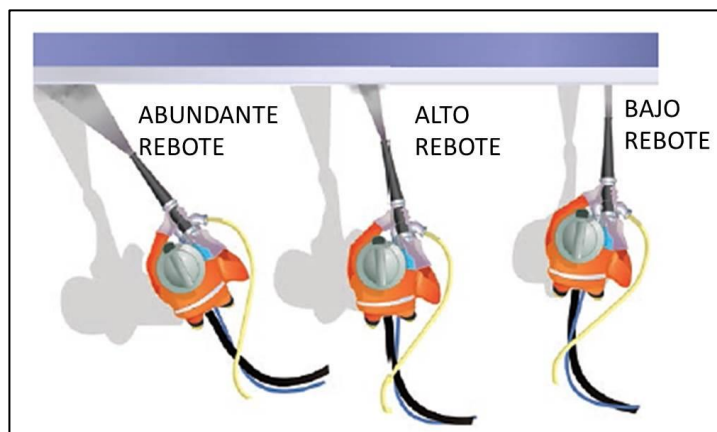
(Fuente: “Programa de certificación para técnicos Gunitadores” – EFNARC)

El testigo de la izquierda, refleja una deficiente aplicación del shotcrete, se puede deducir que es producto de varios factores que suman a obtener un tipo de muestra como la que se visualiza: deficiente compactación, inadecuada distribución del aditivo acelerante, ángulo y distancia de lanzado incorrecta, etc.

El testigo de la derecha, refleja la adecuada ejecución y control de la operación de lanzado de concreto (shotcrete).

### ÁNGULO DE APLICACIÓN

Se debe garantizar como regla general, que la boquilla de lanzado esté lo más perpendicular posible con respecto a la superficie a recubrir. Esto disminuye considerablemente el rebote.



**GRÁFICO 115**

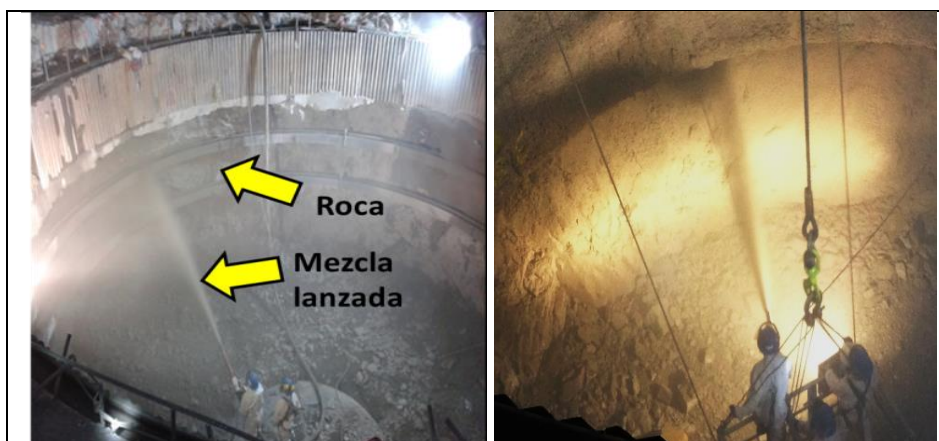
### INFLUENCIA DEL ÁNGULO DE APLICACIÓN

(Fuente: Guía Chilena del hormigón proyectado 2a edición – ICH)

### DISTANCIA DE LANZADO

Se controló la distancia de lanzado para minimizar el rebote y garantizar la correcta compactación de la mezcla.

La distancia recomendada fue de 1.00 a 2.00 metros. A distancias menores y mayores a estas, se agudiza el rebote.



**GRÁFICO 116**

### DISTANCIA DE LANZADO

(Izquierda: Distancia de lanzado inadecuada > 2 mt / Derecha: Distancia de lanzado permitida < 2 mt)

(Fuente: Propia)

### MANIPULACIÓN DE LA BOQUILLA

El ángulo y distancia adecuada en el lanzado debe ir acompañado de movimientos circulares de la boquilla, y además se debe realizar desde la parte inferior hacia la parte más alta de la superficie a sostener, esto permite obtener una superficie de shotcrete más uniforme y reducir el rebote.

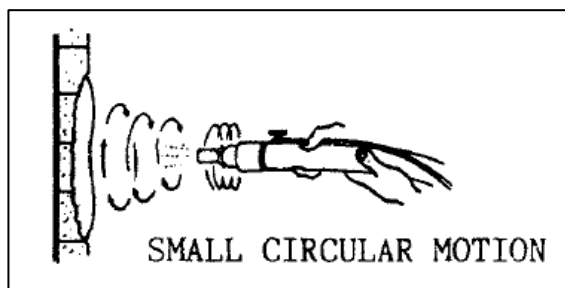


GRÁFICO 117

### MOVIMIENTO CIRCULAR DE LA BOQUILLA INDICADO PARA EL LANZADO

(Fuente: Norma técnica ACI 506R\_05)

### PORCENTAJE DE ADITIVO ACELERANTE

El porcentaje de aditivo acelerante indicado en obra fue entre 6 a 10% del peso del cemento (hoja técnica de aditivo acelerante **Sigunit® L60 AF**), este porcentaje se programa en el equipo de lanzado, el cual cuenta con una bomba de aditivo que regula la proporción indicada durante la labor.

### PRESIÓN DE AIRE DURANTE EL LANZADO

La presión de aire durante el lanzado de la mezcla es de suma importancia para que el shotcrete quede bien compactado y adherido a la roca. Una elevada presión de lanzado genera mayor rebote, y una baja presión de lanzado ocasiona que las capas de concreto queden mal compactadas. La presión recomendada en obra fue de 4 a 6 bares.

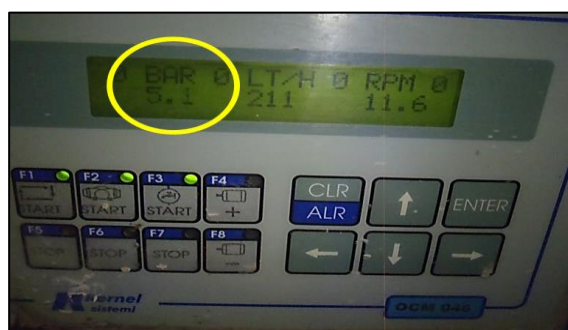


GRÁFICO 118

### PRESIÓN DE LANZADO DE LA MEZCLA DURANTE EL SOSTENIMIENTO DEL PIQUE

(Fuente: Propia)

### 3.2.3.2.6. Control de la mezcla endurecida:

Dentro de los controles post lanzado tenemos a los siguientes:

#### **CURADO:**

Se sabe que el curado adecuado de la mezcla colocada permite la hidratación del cemento (formación del “gel”), dicha reacción brinda al concreto la durabilidad, resistencia requerida, así como la reducción de la fisuración. El mantener húmeda la superficie del shotcrete reducirá esta pérdida de humedad y secado, garantizando el adecuado progreso del concreto.

En las condiciones de la obra, se estableció la siguiente frecuencia y forma de curado del shotcrete:

- Humedecido durante mínimo 03 días y en intervalos de tiempo no menor a 04 horas. Esta frecuencia variaba si la zona donde se aplicó el concreto presentaba humedad natural.
- La forma de curado, fue a través de aspersión o chorro de agua manual. La desventaja de este método es que puede ser fácilmente olvidado de aplicarlo.



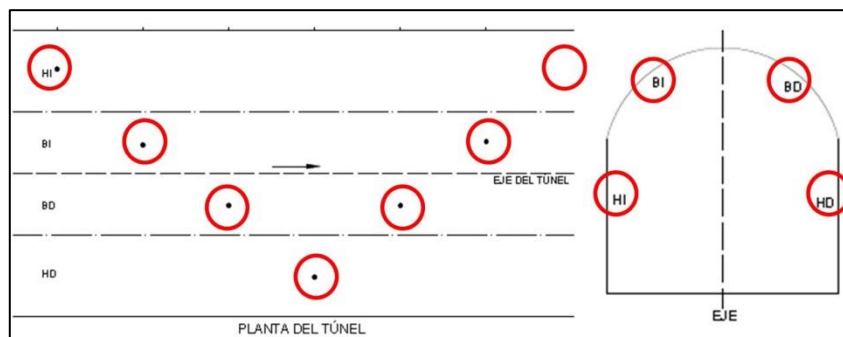
**GRÁFICO 119**  
**CURADO DEL SHOTCRETE CON CHORRO DE AGUA**  
(Fuente: Propia)

#### **MEDICIÓN DE ESPESOR DE SHOTCRETE:**

En la etapa previa al lanzado se colocaron calibradores o pines metálicos con la medida del espesor de shotcrete requerido, ese control primario, es una forma de garantizar (control) que se aplique el espesor mínimo requerido y evitar espesores mayores.



Ahora para corroborar que se ha cumplido o no con el espesor indicado en las especificaciones y planos vigentes, en todos los túneles se procedió a realizar la medición del espesor de shotcrete (profundidad), a través de taladros perforados y distribuidos en forma helicoidal con un punto de medición cada 500 m<sup>2</sup> de superficie lanzada.



**GRÁFICO 120**  
**DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS PARA MEDICIÓN EN LOS TÚNELES**  
**DEL PROYECTO**  
(Fuente: Propia)

Para el caso del Pique de presión, se llegó a un acuerdo con el cliente para que no sea necesario realizar esta actividad de medición, pues después del sostenimiento con shocrete (el cual se colocó de manera preventiva para garantizar la parte operacional del sostenimiento), vendría un revestimiento con concreto armado que sería la superficie final y definitiva.

### **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:**

La resistencia a la compresión se realizaba a través de la rotura de testigos cilíndricos (conforme a la norma ASTM C 39); con la diferencia del concreto convencional, en donde se utilizan probetas, los testigos ensayados fueron núcleos diamantinos extraídos de los paneles muestreados en la etapa de lanzado de la mezcla.

La norma de referencia para el tratamiento de los núcleos de concreto extraídos fue la norma ASTM C 42\*. Los especímenes obtenidos fueron corregidos en su relación Longitud/Diámetro (cuando L/D es menor o igual a 1.75), multiplicando esta relación por el factor de corrección de resistencia indicado en la norma en mención.

\* ASTM C 42 - 7.2 Longitud – Preferentemente, la longitud del espécimen encabezado o perfilado debe ser de entre 1.9 y 2.1 veces el diámetro. Si la relación longitud - diámetro (L/D) del núcleo excede de 2.1, se debe reducir la longitud del núcleo de manera que la relación del espécimen encabezado o perfilado se encuentre entre 1.9 y 2.1. Los núcleos con relaciones longitud- diámetro menores a 1.75 requieren que se corrija la resistencia a la compresión obtenida (véase 7.9.1). No se requiere de un factor de corrección para una L/D mayor de 1.75. Un núcleo con una longitud máxima de menos del 95% de su diámetro previo al encabezado o con una longitud menor a su diámetro posterior al encabezado o esmerilado no debe ser ensayado.

Relación L/D	Factor de Corrección de Resistencia
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

**TABLA 008**  
**FACTOR DE CORRECCIÓN PARA CADA RELACIÓN L/D**  
(Fuente: Norma técnica ASTM C 42)

En obra, conforme a las especificaciones técnicas, la resistencia a la compresión del shotcrete, obtenida de los núcleos extraídos, tuvo los siguientes requisitos mínimos de resistencia a estas edades:

- 3 MPa (~ 30 kg/cm<sup>2</sup>) a las 8 horas.
- 12 MPa (~120 kg/cm<sup>2</sup>) a los 3 días.
- 20 MPa (~200 kg/cm<sup>2</sup>) a los 28 días.

Según lo indicado en las especificaciones técnicas y norma ASTM C 318, se obtenían 03 núcleos para cada edad, y se aceptaban los resultados si:

- El promedio de los 03 núcleos era por lo menos el 85% del  $f'_c$  especificado y ningún núcleo individual tenía una resistencia menor al 75% del  $f'_c$  especificado.



**GRÁFICO 121**  
**PROCESO DE EXTRACCIÓN Y MESA PARA CORTE DE TESTIGOS DE SHOTCRETE**  
(Fuente: Propia)



**GRÁFICO 122**

**ENSAYO A LA COMPRESIÓN DE LOS NÚCLEOS EXTRAIDOS**  
**(Izquierda: Medición de los núcleos extraídos / Derecha: Ensayo en la**  
**prensa hidráulica)**  
(Fuente: Propia)

### **CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA:**

La tenacidad de un material se describe como la capacidad que presenta para absorber una fuerza que le produce una deformación, antes de alcanzar la rotura. Esta propiedad del shotcrete, se aumenta significativamente gracias al uso de las fibras estructurales.

La norma de referencia utilizada para la realizar este ensayo, fue la Especificación Europea para Hormigón Proyectado - EFNARC (European Federation of National Associations Representing for Concrete).

En obra se gestionó la realización de los ensayos en laboratorios externos, ya que no se contaba con el equipo y software requerido para realizar dicha prueba.

Lo que se realizó en obra, fue la toma de las muestras de mezcla lanzada con el equipo de proyección en los paneles metálicos de 100cm x 100cm de lado por x 10cm de profundidad. Luego de ser curado con chorro de agua en el punto de muestreo por lo menos durante 18 horas, se trasladaba al laboratorio para ser curado por inmersión en las pozas de agua. El curado continuaba hasta que la edad del concreto lanzado cumpla los 28 días, para ser cortado mediante sierra a las dimensiones requeridas por la especificación (60cm x 60 cm de lado x 10cm de profundidad). Para su transporte al laboratorio donde se realizaron los ensayos, los paneles aserrados se forraban con abundante tela, de tal manera de protegerlos contra daños y pérdidas excesivas de humedad.



**GRÁFICO 123**

**CURADO DE PANELES DE SHOTCRETE PARA ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA**

(Izquierda: Curado de paneles muestreados con chorro de agua / Derecha: Curado de paneles por inmersión)

(Fuente: Propia)



**GRÁFICO 124**

**CORTE Y MEDICIÓN DE PANELES DE SHOTCRETE PARA ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA**

(Fuente: Propia)

Para el ensayo, la especificación europea indica algunos requerimientos mínimos de Absorción de Energía (en Joules) para una deflexión de hasta 25mm:

Toughness classification	Energy absorption in joule for deflection up to 25mm
a	500
b	700
c	1000

**TABLA 009**

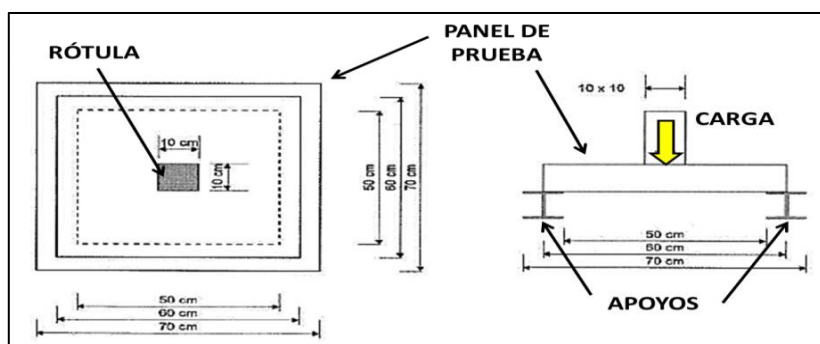
**REQUERIMIENTOS DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA**

(Fuente: Norma EFNARC 1996)



En base a estos requerimientos, en obra, el proyectista estableció que la capacidad de absorción de energía exigida debía ser como mínimo de 650 Joules (J), para una deflexión de 25mm. El ensayo estaría conforme, cuando se obtuvo un mínimo de 02 pruebas exitosas (02 de las 03 muestras preparadas).

El ensayo, consiste en aplicar una carga puntual a través de una rótula en el centro del panel de prueba, el panel recibe esta carga apoyado a lo largo de su perímetro (04 bordes) en una plataforma metálica. La carga es aplicada hasta lograr una deformación de 25mm en el centro del mismo. A través de este ensayo (carga puntual con posterior flexión del panel), se simula el comportamiento estructural del shotcrete dentro del sostenimiento de túneles.



**GRÁFICO 125**  
**DIAGRAMA DE LA CARGA APLICADA AL PANEL DE PRUEBA**  
(Fuente: Norma EFNARC 1996)

El equipo usado para este ensayo es una prensa hidráulica; los datos de presión y deformación generada son medidos a través de transductores conectados a un computador.



**GRÁFICO 126**  
**EJECUCIÓN DE ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA**  
(Izquierda: PRENSA HIDRÁULICA APLICANDO CARGA / Derecha: GRÁFICA GENERADA)  
(Fuente: Propia)





**GRÁFICO 127**

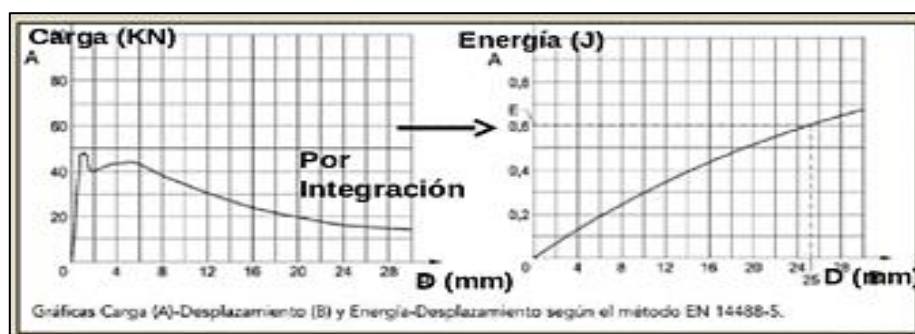
**ESTADO DEL PANEL DESPUES DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA**

**(Izquierda: PANEL AGRIETADO / Derecha: MEDICIÓN REFERENCIAL DE LAS GRIETAS GENERADAS)**

(Fuente: Propia)

**Según lo indicado por la EUROPEAN SPECIFICATION for SPRAYED CONCRETE (EFNARC 1996):**

- El aumento de carga gradual genera una curva denominada Carga – Deformación, que es registrada en orden de 1.50 mm por minuto. A partir de esta gráfica, la computadora obtiene por integración una nueva gráfica denominada Energía – Deformación.



**GRÁFICO 128**

**GRÁFICAS OBTENIDAS EN EL ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA**

(Fuente: Método de ensayo según norma EN 14488-5)

- La gráfica de la izquierda, muestra un pico de falla del concreto, donde a su vez inicia el trabajo de la fibra estructural, comportándose como el elemento que permite la permanencia de la estabilidad (no colapso) del sostenimiento, y a través de ellas se transmite la carga residual absorbida. Este pico representa el inicio de la integral de la curva (gráfica de la derecha) y el inicio de la cantidad de energía absorbida por las fibras metálicas adicionales a la mezcla (capacidad de soportar cargas en estado de fisuración y/o agrietamiento).

- Para obtener resultados confiables en este ensayo, es muy importante que la superficie de apoyo del panel y la superficie del mismo esté totalmente plana; una muestra que no sea plana se deformará de forma impredecible, con múltiples picos de carga, ya que la distribución de esfuerzos alrededor de la superficie de apoyo no será homogénea.

	OFICINA TÉCNICA	TOPOGRAFÍA	PRODUCCIÓN	LABORATORIO	CALIDAD
<b>Suministros</b>	Proveer planos actualizados.	-	Componentes de la mezcla: Almacenamiento en el Frente de trabajo.	Diseño de mezcla aprobado.	Inspección del almacenamiento, Reporte de la Inspección en la Recepción (RIR).
<b>Lavado de superficie</b>	-	-	Ejecución.	-	Verificación Geología / QC.
<b>Control de espesores</b>	-	Marcado: Reporte de Actividad Topográfica.	Ejecución.	-	Verificación de colocación de calibradores o control topográfico.
<b>Liberación del frente</b>	Proveer planos actualizados.	-	Elaborar (Apertura) el registro de Aplicación de Shotcrete.	-	Liberación (cierre) del registro de Aplicación de Shotcrete.
<b>Control de Concreto Fresco</b>	-	Reporte de Actividad Topográfica (área o longitud con shotcrete).	Apoyo con personal y equipos.	Asentamiento, Temperatura, Fraguado, etc., según lo establecido en el PCQ.	Verificación de los registros de Topografía, seguimiento a los ensayos de Laboratorio, según lo establecido en el PCQ y control de uso de formatos vigentes.
<b>Curado</b>	-	-	Ejecución.	-	Verificación.
<b>Control de Concreto Endurecido</b>	-	-	-	Compresión, Absorción de energía, etc., según lo establecido en el PCQ.	Verificación de realización de ensayos de Laboratorio según lo establecido en el PCQ y control de uso de formatos vigentes.
<b>Medición de espesores</b>	-	Medición (si es el caso): Reporte de Actividad Topográfica.	- Apoyo con personal y equipos. - Elaborar (Apertura) el registro de verificación de espesores de shotcrete.	-	- Ejecución (Medición). - Liberación (cierre) del registro de verificación de espesores de shotcrete.

**TABLA 010**  
**SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE: Resumen de Actividades de Control**  
(Fuente: Propia)

De la etapa de Sostenimiento con Shotcrete realizado en el Pique de Presión, puedo comentar el siguiente punto relevante:

- El método empleado en obra (shotcrete vía húmeda, utilizando una máquina semi-automatizada), sin la correcta ejecución, no favorece el adecuado desempeño del sostenimiento colocado, ya que en gran parte, el éxito de la operación depende del operario del equipo proyector. Sin una adecuada técnica, sin la suficiente experiencia, sin empatía por la labor y sin adecuado control, todo el trabajo que viene detrás, no sirve.
- Considero importante antes de invertir tiempo y dinero en capacitaciones, tener un filtro de parte del área de Control de Calidad, sobre el personal operativo que se contrata (casi siempre se tiene referencia del personal postulante). Así se ahorraría en plazos y costo, y se evitaría los no deseados re-trabajos, que lo que hacen, es debilitar la imagen de la empresa constructora. Estoy seguro, que implementar este filtro previo, traería muchos beneficios para la ejecución de las actividades de sostenimiento con shotcrete, y en general.

### 3.2.3.3. Control del Sostenimiento con Pernos:

Este control abarca desde la inspección de los materiales, la preparación del sustrato, la instalación de este tipo de sostenimiento y el ensayo a los pernos instalados.

#### 3.2.3.3.1. Plan de Control de Calidad – Sostenimiento con Pernos:

Se estableció el siguiente Plan de Control de Calidad (PCQ) para esta etapa de trabajo:

<div><div><div>ASTALDI</div><div>GyM</div></div><div>CONSORCIO RIO MANTARO</div></div>						<div>PLAN DE CONTROL DE CALIDAD</div> <div>SOSTENIMIENTO CON PERNOS DE ANCLAJE</div> <div>GE-AGM-3P-01010101-MPR-016-R4-PCQ</div>						<div><div></div><div>SGL-CRM-GC-025_PCQ</div><div>Rev. 3</div><div>Fecha: 16/09/2013</div></div>					
Cliente: CERRO DEL AGUILA S.A.			Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERIA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCION PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA				Obra: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA				Página 1 de 2						
PREPARADO POR (RCC):			VERIFICADO POR (RUT):				APROBADO POR (PME):				FECHA: 13.11.2014						

N°	FASE DEL PROCESO	CARACTERÍSTICAS DE LAS PRUEBAS/INSPECCIONES Y ENSAYOS	Tipo de Prueba (*)	CRITERIOS DE ACEPTACION	FRECUENCIA	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	REGISTROS PARA EMITIR/ VERIFICAR	EQUIPO UTILIZADO	RESPONSABILIDADES					
									Construcción	Fecha	Control de Calidad	Fecha	Cliente	Fecha
1	CONTROL DE MATERIALES EN ALMACEN	Certificados de Calidad de pernos de sostenimiento (helicoidales, tipo Swellex); materiales para lechadas de inyección; resinas y morteros cementicios	R	EE.TT. del proyecto. Información técnica de los materiales.	Según lote recibido	Planos para Construcción / EE.TT. del proyecto.	SGL-CRM-GC-022-RSC/ SGL-CRM-GC-023-RIR/ SGL-CRM-GC-029-IDTAG/ SGL-CRM-GC-048-RITS		W		W			
2		Adecuado almacenamiento de los materiales	W	EE.TT. del proyecto. Información técnica de los materiales.	Diario	Planos para Construcción / EE.TT. del proyecto.	SGL-CRM-QC-007-SCP		W/R		R			
3	CONTROLES ANTES DE LA INSTALACION	Verificación de superficie de inclinación profundidad y limpieza del taladro.	H	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Por cada instalación.	Planos para Construcción / EE.TT. del proyecto.	SGL-CRM-QC-007-SCP		H/R		W			
4		Verificación del equipamiento y personal necesario.	W	Planos para Construcción, EE.TT. del	Por cada instalación.	Planos para Construcción / EE.TT. del	---		W		W			

5	CONTROLES DURANTE LA INSTALACION	Ensamblado de la cabeza mecánica y colocación de mangueras de inyección y venteo	H	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Por cada instalación.	Planos para Construcción / EE.TT. del proyecto.	--		H		W			
6		Preparación e inyección de la lechada de anclaje.	H	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Por cada instalación.	Planos para Construcción / EE.TT. del proyecto.	SGL-CRM-QC-007-SCP / SGL-CRM-QC-023-RIL		H/R		W			
7		Preparación y colocación de resinas epóxicas y/o morteros cementicios.	H	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Por cada instalación.	Planos para Construcción / EE.TT. del proyecto.	SGL-CRM-QC-007-SCP / SGL-CRM-QC-023-RIL		H/R		W			
8	CONTROLES DESPUES DE LA INSTALACION	Verificación de longitud embebida del perno/ cantidad y tipo de pernos instalados/fijación final del perno.	H	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Por cada instalación.	Planos para Construcción / EE.TT. del proyecto.	SGL-CRM-QC-007-SCP		H/R		H			
9		Pull Out Test.	H	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	4 x cada 100 de los primeros pernos, resto 1 x cada 100.	Planos para Construcción / EE.TT. del proyecto.	SGL-CRM-QC-016-POT	Equipo de tensado	H/R		R			

GRÁFICO 129

### PLAN DE CONTROL DE CALIDAD – SOSTENIMIENTO CON PERNOS

(Fuente: Procedimiento GE-AGM-3P-01010101-MPR-016-R6 – Sostenimiento con pernos de anclaje)

### 3.2.3.3.2. Control de materiales:

Se basa en la inspección rutinaria de los materiales componentes del sostenimiento con pernos: Perno Helicoidal y Resina.

Su adecuada identificación, almacenamiento y control del tiempo de vida útil (para el caso de los cartuchos de resina), permitieron que los materiales usados en el sostenimiento del sustrato, sean aptos para su uso.

#### **PERNO HELICOIDAL:**

Cada vez que un lote de pernos y sus accesorios (platina y tuerca) ingresaban a obra, éstos fueron controlados en la recepción del almacén. El área de Calidad solicitaba a almacén, el Certificado de Calidad y la Hoja Técnica respectiva para ser archivadas (**Ver HT de Perno estabilizador Prodimin en Anexo 07**).

Se verifica el tipo de perno recepcionado, la longitud, el diámetro y la cantidad despachada desde almacén hacia cada punto de la obra.



**GRÁFICO 130**  
**VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES DEL PERNO HELICOIDAL**  
(Fuente: Propia)

El almacenamiento de los pernos, tanto de los que quedan en custodia dentro del almacén general y de los que llegan a un determinado frente de trabajo dentro de la obra, deben tener condiciones adecuadas de acopio, las cuales menciono a continuación:

- Aislados del contacto directo con el suelo, humedad o agua.
- De preferencia, cubiertos con lona u otro material que los proteja de inesperadas precipitaciones pluviales.
- Todo perno para poder ser instalado, deberá estar libre de corrosión, sin presencia de barro o grasa en su superficie.





**GRÁFICO 131**

**ALMACENAMIENTO DE PERNOS HELICOIDALES**

**IZQUIERDA: Inadecuado almacenamiento de pernos helicoidales /**

**DERECHA: Adecuado almacenamiento de pernos helicoidales**

(Fuente: Propia)

**RESINA:**

De igual manera que en la recepción de otros materiales, se realizó el control de ingreso de cada lote de resinas (de fraguado rápido y fraguado lento), el personal de almacén se hacía cargo de la recepción y entrega al departamento de Calidad de la Hoja Técnica y del Certificado de Calidad del producto (**Ver HT de Resina Ground Lock – Castem en Anexo 07**).

Los cartuchos de resina, llegaban a obra embalados en cajas, especificando el contenido, el tipo de fragua, las dimensiones de cartuchos, la cantidad de cartuchos, y la fecha de fabricación y vencimiento. El almacenamiento de estas cajas fue según lo indicado por el fabricante:

- Ubicados en un lugar fresco y ventilado.
- No expuesto a la luz directa del sol u otra forma de calor.
- Almacenados a temperaturas no mayores de 20 °C. Para esto se acondicionaron contenedores con sistema de enfriamiento (aire acondicionado).





**GRÁFICO 132**

**ALMACENAMIENTO DE RESINAS**

**IZQUIERDA: Cajas contenedoras de los cartuchos de resina / DERECHA:**  
**Almacenamiento de resinas dentro de contenedores con temperatura controlada**

(Fuente: Propia)

**3.2.3.3.3. Control en la instalación:**

Se detalla el proceso de instalación y los controles para esta etapa del sostenimiento:

**PERFORACIÓN:**

En la etapa de perforación se debe controlar la ubicación precisa de los taladros y su ejecución, cuidando la profundidad y diámetro correcto. Los taladros deben ser perforados lo más perpendicular posible al estrato o según otra condición distinta indicada durante la evaluación geotécnica.

Los taladros deben quedar limpios, lavados con agua y aire a presión; esto para minimizar los posibles atascos de los pernos durante su instalación, especialmente cuando el tipo de roca no es muy consistente.

En nuestro caso al usar pernos de 4.00 m de longitud y con la necesidad de dejar el perno expuesto unos 10 centímetros fuera del taladro, la profundidad requerida del taladro fue de 3.90 m. La longitud expuesta indicada permite colocar la platina, tuerca y poder ejecutar los ensayos post instalación.



**GRÁFICO 133**  
**PERFORACIÓN Y LAVADO DE TALADRO ANTES DE INSTALACIÓN**  
**DE PERNO**  
(Fuente: Propia)

Puedo mencionar algunos errores comunes a evitar, para tener éxito en las perforaciones realizadas:

- El diámetro del taladro recomendado debe ser igual al diámetro del perno helicoidal + 10mm, para garantizar la adecuada distribución y fraguado de la resina dentro del taladro. Un diámetro mayor o excesivo aumenta el tiempo de fragua de la resina y reduce su resistencia final.
- Cuando la longitud del taladro es mayor a lo requerido, se corre el riesgo que los cartuchos de resina de la parte final del taladro (fondo) no sean bien mezclados.
- Cuando la longitud del taladro es menor a lo solicitada, no se estaría cumpliendo con la longitud de anclaje requerido en roca para el sostenimiento indicado.



**GRÁFICO 134**  
**MEDICIÓN DE TALADRO PERFORADO PARA INSTALACIÓN DE**  
**PERNO**  
(Fuente: Propia)

### **COLOCACIÓN DE RESINA:**

Teniendo el taladro listo, se procede a colocar los cartuchos de resina en la cantidad prevista con ayuda de un atacador de madera, evitando romper el cartucho antes de tiempo.

Las dimensiones del cartucho de resina empleado son:

Longitud = 305 mm (30.5 cm).

Diámetro = 32 mm (3.20 cm).

Para la profundidad de taladro requerido de 3.90 m. (390 cm), se necesitaron de 13 a 14 cartuchos de resina en total por taladro.



**GRÁFICO 135**  
**COLOCACIÓN DE CARTUCHOS DE RESINA**  
**(DE FRAGUA RÁPIDA: COLOR BLANCO / DE FRAGUA LENTA:**  
**COLOR NARANJA)**  
(Fuente: Propia)

### **COLOCACIÓN DE PERNO:**

Al tener los taladros llenos con los cartuchos de resina, se procede a instalar los pernos con ayuda del equipo de perforación (perforadora jackleg), empujando y rotando el perno hasta el fondo del taladro, de manera de poder garantizar el adecuado batido y mezcla de los componentes de la resina. La instalación del perno culmina, con la colocación de la platina y ajuste de la tuerca.



**GRÁFICO 136**  
**INSTALACIÓN FINAL DE PERNO HELICOIDAL**  
**(Izquierda: Perno en proceso de instalación / Derecha: Ajuste de tuerca)**  
(Fuente: Propia)

#### **3.2.3.3.4. Ensayo – Pull Out Test a Pernos de Sostenimiento:**

Este ensayo se realiza en una muestra de pernos instalados como parte del sostenimiento del túnel u obra subterránea. Al ejecutar esta prueba, se obtiene 02 tipos de resultados:

- Cuantitativos: Para conocer la capacidad última de trabajo y la elongación permisible.
- Cualitativos: Para verificar el comportamiento del sistema de fijación empleado y su interacción con el tipo de estrato atravesado.

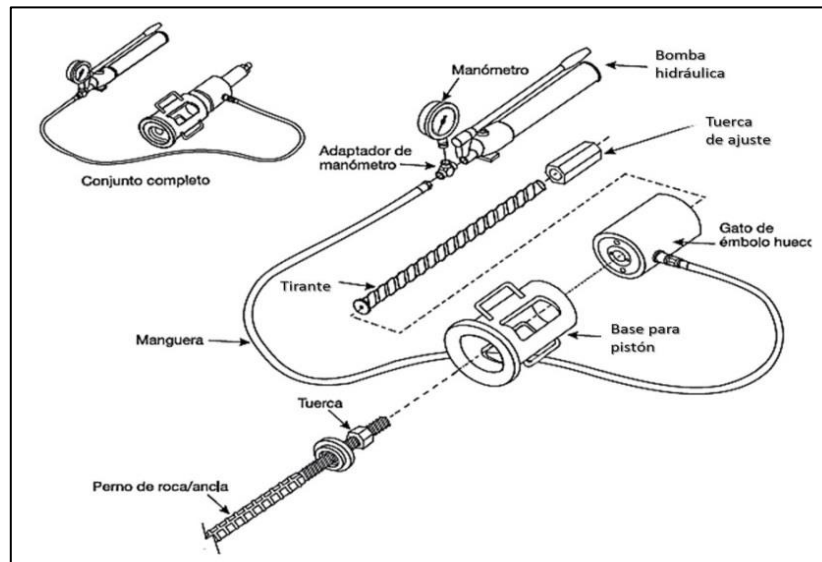
**La norma aplicable a esta prueba es la ASTM D 4435.**

#### **EQUIPO Y HERRAMIENTAS EMPLEADAS:**

El equipo completo utilizado estuvo conformado de las siguientes partes y herramientas complementarias:

- Gata o Pistón hidráulico hueco.
- Base para pistón.
- Tirante o extensor con tuerca de ajuste.
- Bomba hidráulica con manguera y manómetro.
- Cuñas metálicas para nivelar superficie y base para pistón.
- Juego de llaves para ajuste y comba.
- Pie de rey o vernier para medición de la elongación.





**GRÁFICO 137**  
**ESQUEMA DEL EQUIPO DE TENSADO**  
(Fuente: Catálogo de Productos para Minería y Túneles – DSI)



**GRÁFICO 138**  
**COMPONENTES DEL EQUIPO DE TENSADO**  
(Fuente: Propia)

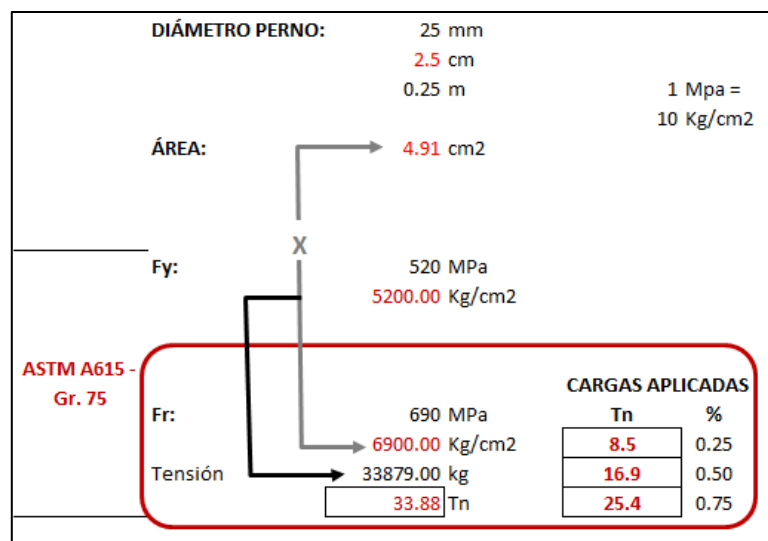


**RESUMEN DEL MÉTODO:**

El perno helicoidal instalado en el túnel, se estira hidráulicamente a través de aplicación de cargas continuas, al mismo tiempo se mide el desplazamiento gradual ocasionado al tensarlo. Estas cargas y desplazamientos controlados nos permiten generar una gráfica del **comportamiento del sistema de fijación empleado** (en este caso el sistema perno – resina), y verificar si se permite el correcto desempeño del perno dentro del macizo rocoso, ya que estos pernos mejoran la capacidad portante de la roca a la que sostienen.

Las cargas aplicadas se calcularon **según lo indicado en la norma ASTM D 4435**: 25, 50 y 75% de la carga de rotura estimada del perno.<sup>11</sup>

De manera ilustrativa, se muestra a continuación, las cargas graduales establecidas para el ensayo de este tipo de pernos instalados en obra (Perno de 25mm de diámetro, Grado 75) fueron:



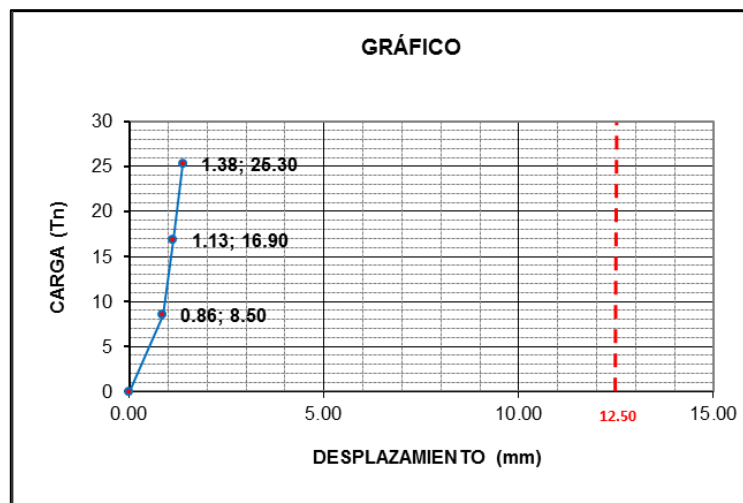
**GRÁFICO 139**  
**CÁLCULO DE CARGAS APLICADAS EN EL TENSADO DE PERNOS**  
(Fuente: Propia)

La elongación máxima permisible para el ensayo fue de 12.50mm o 1/2 pulgada, **según la norma ASTM D 4435**.<sup>12</sup>

La cantidad de ensayos a ejecutar, lo estipula el contrato o especificación técnica de cada obra, en nuestro caso, se realizaron pruebas al 1% de los pernos instalados.

<sup>11</sup>. Ítem 7.4.2 de la Norma ASTM D 4435, 2008.

<sup>12</sup>. Ítem 7.4.7 de la Norma ASTM D 4435, 2008.



**GRÁFICO 140**  
**EJEMPLO DE GRÁFICA CARGA vs DESPLAZAMIENTO OBTENIDA**  
**DEL TENSADO**  
(Fuente: Propia)





**GRÁFICO 141**  
**PULL OUT TEST - ETAPAS DEL ENSAYO**  
(Fuente: Propia)



	OFICINA TÉCNICA	TOPOGRAFÍA	PRODUCCIÓN	LABORATORIO	CALIDAD
Suministros	Proveer planos actualizados.	-	Materiales necesarios: Almacenamiento en el Frente de trabajo.	-	Inspección del almacenamiento y verificación del material a utilizar, Reporte de la Inspección en la Recepción (RIR).
Perforación	Proveer planos actualizados.	Marcado: Reporte de Actividad Topográfica.	Ejecución.	-	Control del cumplimiento de la indicación geológica y/o planos vigentes (ubicación de taladros, longitud, diámetro, cantidad, limpieza).
Liberación del frente	Proveer planos actualizados.	-	Elaborar (Apertura) el Registro de Sostenimiento con pernos.	-	-
Instalación del perno	-	Reporte de Actividad Topográfica (levantamiento de pernos instalados).	Ejecución.	-	- Verificación y control de cada fase del proceso (instalación de resinas, batido del perno, instalación del perno, colocación de plancha metálica y tuerca). - Liberación (cierre) del Registro de Sostenimiento con pernos.
Pull Out Test (Tensado de pernos)	-	Reporte de Actividad Topográfica (levantamiento de pernos ensayado).	Apoyo con personal y equipo.	-	Ejecución del ensayo y elaboración del registro.

**TABLA 011**  
**SOSTENIMIENTO CON PERNOS: Resumen de Actividades de Control**  
(Fuente: Propia)

### 3.2.3.4. Control del Sostenimiento con Cimbras:

#### 3.2.3.4.1. Plan de Control de Calidad – Sostenimiento con Cimbras:

Se estableció el siguiente Plan de Control de Calidad (PCQ) para esta etapa de trabajo:



**CONSORCIO RIO MANTARO**

**PLAN DE CONTROL DE CALIDAD  
SOSTENIMIENTO CON CIMBRAS**

**GE-AGM-3P-01010101-MPR-020-R3-PCQ**



**SGL-CRM-GC-025-PCQ**  
 Rev. 3  
 Fecha: 16/09/2013

Cliente: CERRO DEL AGUILA S.A.

Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERIA,  
 SUMINISTROS Y CONSTRUCCION PARA EL PROYECTO  
 HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA

Obra: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA

Página 1 de 2

PREPARADO POR (RQC):

VERIFICADO POR (RUT):

APROBADO POR (PM):

FECHA: 16.01.2015

N°	FASE DEL PROCESO	CARACTERÍSTICAS DE LAS PRUEBAS/ INSPECCIONES Y ENSAYOS	CRITERIOS DE ACEPTACION	FRECUENCIA	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	REGISTROS PARA EMITIR/ VERIFICAR	EQUIPO UTILIZADO	RESPONSABILIDADES				
								Construcción	Fecha	Control de Calidad	Fecha	Clave
1	CONTROL DE MATERIALES	Almacenamiento adecuado de los materiales a utilizar.	W/ H/ R	Información técnica de los materiales.	Uno por mes o a la llegada de materiales.	Información técnica de los materiales.	SGL-CRM-GC-022-RSO/ SGL-CRM-GC-023-RIR/ SGL-CRM-GC-029-IDTAG/ SGL-CRM-GC-048-RITS	Participa Almacén	X		X	
2		Certificados de calidad de los materiales.	W/ H/ R	Información técnica de los materiales.	Por cada tipo de material según lotes de compra, etc.	EE.TT. del proyecto.	SGL-CRM-GC-022-RSO/ SGL-CRM-GC-023-RIR/ SGL-CRM-GC-029-IDTAG/ SGL-CRM-GC-048-RITS	Participa Almacén	X		X	
3	CIMBRAS DE ACERO	Verificación del equipamiento y personal necesario.	W	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Por cada voladura	Planos para Construcción/ EE.TT. del proyecto.	--		X		X	
4		Verificación de desdénque	H/ R	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Por cada cimbra	Planos para Construcción/ EE.TT. del proyecto.	SGL-CRM-QC-013-SCC		X		X	
5		Verificación de la nivelación de la superficie de apoyo de la cimbra	H/ R	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Por cada cimbra	Planos para Construcción/ EE.TT. del proyecto.	SGL-CRM-QC-013-SCC		X		X	
6		Verificar el punto de colocación de la cimbra, gradiente y punto de dirección	H/ R	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Por cada cimbra	Planos para Construcción/ EE.TT. del proyecto.	SGL-CRM-GC-027-RAT / SGL-CRM-QC-013-SCC	Participa Topografía	X		X	
7		Verificación de colocación de cimbra	H/ R	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Por cada cimbra	Planos para Construcción/ EE.TT. del proyecto.	SGL-CRM-GC-027-RAT / SGL-CRM-QC-013-SCC	Participa Topografía	X		X	
8		Verificar colocación de espaciadores	H/ R	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Por cada cimbra	Planos para Construcción/ EE.TT. del proyecto.	SGL-CRM-QC-013-SCC	Cuando proceda	X		X	

**GRÁFICO 142**

## PLAN DE CONTROL DE CALIDAD – SOSTENIMIENTO CON CIMBRAS

(Fuente: Procedimiento GE-AGM-3P-01010101-MPR-020-R5 – Sostenimiento con cimbras)

### 3.2.3.4.2. Control de materiales:

La inspección de los materiales componentes del sostenimiento con Cimbras comprendía la verificación de los perfiles metálicos (cimbra propiamente dicha), elementos de unión y fijación como los pernos y distanciadores, además de las planchas acanaladas.

Cada vez que un lote de cimbras y sus accesorios ingresaban a obra, éstos fueron controlados en la recepción del almacén, el área de Calidad solicitaba a almacén, el Certificado de Calidad y la Hoja Técnica respectiva al lote en mención para ser archivado.

Se verificaba el tipo de cimbra recepcionada, sus dimensiones y la cantidad despachada desde almacén hacia cada punto de la obra.

El adecuado almacenamiento de las cimbras metálicas, tanto de los que quedan en custodia dentro del almacén general y de los que llegan a un determinado frente de trabajo dentro de la obra, debe cumplir los siguientes requerimientos mínimos:



- Aislados del contacto directo con el suelo, humedad o agua.
- De preferencia, cubiertos con lona u otro material que los proteja de inesperadas precipitaciones pluviales.
- Toda cimbra para poder ser instalada, deberá estar libre de corrosión, sin presencia de barro o grasa en su superficie.

Su apropiada identificación y almacenamiento, permitieron que los materiales usados en el sostenimiento del sustrato, sean los más idóneos.



**GRÁFICO 143**

**ALMACENAMIENTO DE CIMBRAS METÁLICAS**

**IZQUIERDA: Inadecuado almacenamiento de cimbras metálicas /**

**DERECHA: Adecuado almacenamiento de cimbras metálicas**

(Fuente: Propia)

**3.2.3.4.3. Control en la instalación:**

**VERIFICACIÓN TOPOGRÁFICA:**

Gran parte del control en la instalación de cimbras metálicas es realizado con el soporte del área de topografía. Iniciando la actividad con la verificación topográfica de la sección excavada, para no tener interferencias con la roca al momento de instalar la cimbra.

**IZAJE:**

Con ayuda del puente grúa se cargan las partes que conforman la cimbra circular, siendo fijados gradualmente a la roca con ayuda de cáncamos de fierro.





**GRÁFICO 144**  
**USO DEL PUENTE GRÚA PARA LA INSTALACIÓN DE LAS**  
**CIMBRAS CIRCULARES**  
(Fuente: Propia)

**UNIÓN DE ELEMENTOS:**

Para poder asentar de manera definitiva la cimbra, se verifica su nivelación horizontal y vertical, para así proceder a la unión de las partes en las que se divide la cimbra circular, a través de pernos roscados y tuercas, además de puntos de soldadura para la unión de los cáncamos de soporte y la cimbra.



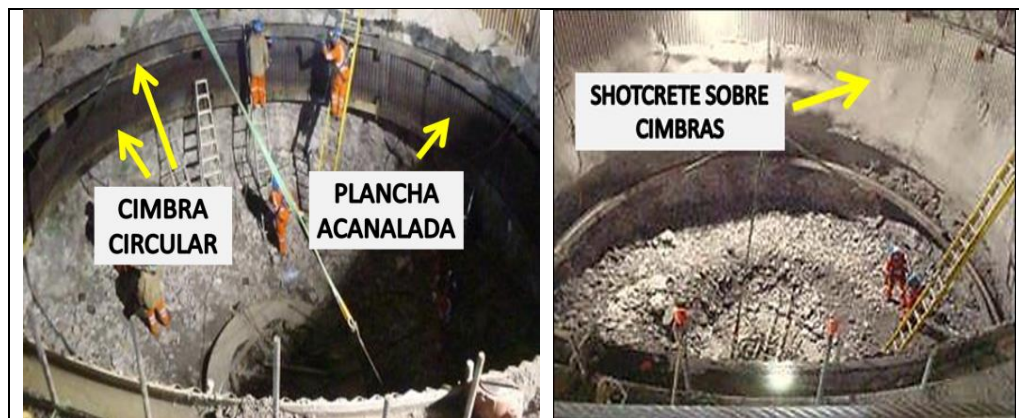
**GRÁFICO 145**  
**UNIÓN DE LAS PARTES DE LA CIMBRA CIRCULAR**  
(Fuente: Propia)

### **ACABADO:**

Cada cimbra va unida una a otra a través de distanciadores.

Se culmina la instalación con la colocación de las planchas acanaladas, que van ubicadas en el espacio entre cimbras.

El vacío entre cimbras, planchas acanaladas y estrato rocoso, fue rellenado en este caso, con una mezcla de concreto aprobado en obra.



**GRÁFICO 146**  
**ETAPA FINAL DE INSTALACIÓN DE LA CIMBRA CIRCULAR**  
(Fuente: Propia)

	OFICINA TÉCNICA	TOPOGRAFÍA	PRODUCCIÓN	LABORATORIO	CALIDAD
Suministros	Proveer planos actualizados.	-	Materiales necesarios: Almacenamiento en el Frente de trabajo.	-	Inspección del almacenamiento y verificación del material a utilizar, Reporte de la Inspección en la Recepción (RIR).
Sección adecuada	Proveer planos actualizados.	Markado y replanteo: Reporte de Actividad Topográfica.	Ejecución.	-	Verificación.
Colocación y armado	-	Alineamiento, trazo y replanteo: Reporte de Actividad Topográfica.	Elaborar (Apertura) el Registro de Sostenimiento con cimbras.	-	Verificación de los controles durante el proceso. Seguimiento al registro aperturado.
Instalación final	-	Reporte de Actividad Topográfica (levantamiento de cimbra instalada).	Ejecución.	-	Liberación (cierre) del Registro de Sostenimiento con cimbras.

**TABLA 012**  
**SOSTENIMIENTO CON CIMBRAS: Resumen de Actividades de Control**  
(Fuente: Propia)

### 3.2.4. Control de Calidad del Revestimiento de concreto armado:

Este control del revestimiento abarca:

- La inspección previa de los materiales permanentes.
- La instalación del acero de refuerzo.
- La inspección de la tarea de encofrado y desencofrado.
- La preparación de la zona a ser revestida (previo al vaciado).
- La preparación de la mezcla y su colocación (vaciado).
- Los ensayos durante y post vaciado.

#### 3.2.4.1. Plan de Control de Calidad – Revestimiento:

Se estableció el siguiente Plan de Control de Calidad (PCQ) para esta etapa de trabajo:

ASTALDI GyM CONSORCIO RIO MANTARO		PLAN DE CONTROL DE CALIDAD PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN OBRAS DEL REVESTIMIENTO DELPIQUE DE PRESIÓN GE-AGM-3P-01050102-MPR-131-R0-PCQ						Cerro del Águila		
Cliente: CERRO DEL AGUILA S.A.		Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERIA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCION PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA		Obra: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA		SGI-CRM-GC-025-PCQ Rev. 3 Fecha: 16/09/2013		Página 1 de 4		
PREPARADO POR (PCQ):		VERIFICADO POR (RUT):		APROBADO POR (PM):		FECHA:		25.6.13		
N°	FASE DEL PROCESO	CARACTERÍSTICAS DE LAS PRUEBAS/ INSPECCIONES Y ENSAYOS	CRITERIOS DE ACEPTACION	FRECUENCIA	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	REGISTROS PARA EMITIR/ VERIFICAR	EQUIPO UTILIZADO	RESPONSABILIDADES		
			Tipo de Prueba					Construcción	Fecha	Control de Calidad
1	CONTROL DE MATERIALES	Almacenamiento adecuado de los materiales a utilizar.	H/ R	Información técnica de los materiales.	A la llegada y antes del uso de materiales.	Información técnica de los materiales.	SGI-CRM-GC-022-RSO/ SGI-CRM-GC-023-RIR/ SGI-CRM-GC-029-IDTAG	N.A	W	W
2		Certificados de calidad de los materiales.	H/ R	Información técnica de los materiales.	Por cada tipo de material según lotes de compra, etc.	EE.TT. del proyecto.	SGI-CRM-GC-022-RSO/ SGI-CRM-GC-023-RIR/ SGI-CRM-GC-029-IDTAG	N.A	W/ R	W
3	COLOCACION DE ARMADURA DE REFUERZO	Habilitación, armado de acero de refuerzo.	H/ R	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Para cada estructura.	Planos para Construcción/ EE.TT. del proyecto	SGI-CRM-GC-003-LEC	N.A	H	R
4	ENCOFRADO ESTRUCTURAS DE CONCRETO	Verificación de condiciones de almacenamiento.	W/ R	EE.TT. del proyecto.	A la recepción de los encofrados.	EE.TT. del proyecto.	SGI-CRM-GC-023-RIR/ SGI-CRM-GC-029-IDTAG/ SGI-CRM-GC-022-RSO	Participa: Almacén	H	R
5		Limpieza y aplicación de desmoldante.	W	EE.TT. del fabricante del encofrado.	Para cada encofrado.	EE.TT. del fabricante del encofrado.	N.A.	N.A	H	W
6		Trazo y replanteo topográfico para encofrados/ Alineamiento y niveles de encofrado.	H/ R	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Para cada estructura encofrada /antes y después del vaciado.	Planos para Construcción/ EE.TT. del proyecto.	SGI-CRM-GC-027-RAT	Participa: Topografía	H	R
7		Inspección de aseguramiento, alineamiento y niveles de encofrado.	H/ R	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Para cada estructura encofrada.	Planos para Construcción/ EE.TT. del proyecto.	SGI-CRM-GC-003-LEC	N.A	H	R

8		Control de tiempo mínimo para desencofrado.	H/ R	- Cuando el concreto llegue 8MPa de f'c o 24 horas, el que suceda primero.	Para cada estructura encofrada.	Planos para Construcción/ EE.TT. del proyecto.	SGI-CRM-QC-003-LEC	Participa Laboratorio	H		R				
9	COLOCACION DE CONCRETO	Colocación de Concreto.	H/ R	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Para cada estructura.	ACI 318/ ASTM C31/ ASTM C39.	SGI-CRM-QC-003-LEC	N.A	H		R				
10		Control de Concreto Fresco en Obra	H/ R	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Para cada estructura.	ACI 318/ ASTM C31/ ASTM C39/ Item 4 de PCQ-LAB-C-001-CC	SGI-CRM-LAB-011-C-CCST	Equipos Laboratorio / Participa laboratorio	H		R				
11		Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días (6 probetas: 2@7, 2@28).	H/ R	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Un muestreo/di a y por cada tipo de concreto producido (cada 120 m3).	ACI 318 5.6.2 / ASTM C31/ ASTM C39/ Item 5 de PCQ-LAB-C-001-CC	SGI-CRM-LAB-C-016-RECP	Equipos Laboratorio / Participa laboratorio	H		R				
		Curado	H/ R	- Curado con agua: Mínimo 2 días; - Luego, curado químico	Curado permanente en las primeras 48 horas.	EE.TT. del proyecto.	SGI-CRM-QC-003-LEC	N.A	H		R				
12	VERIFICACIÓN DE CALIDAD DEL CONCRETO ENDURECIDO	Ensayo a compresión de núcleos de concreto.	H/ R	EE.TT. del proyecto.	De ser requerido. Se extraerán 03 núcleos por estructura.	ACI 318 5.6.5/ ASTM C42.	SGI-CRM-LAB-C-017-EECN	Equipos Laboratorio / Participa laboratorio	H		R				

SGI-CRM-QC-025-PCQ (\*) Leyenda: H= Punto de Control/ Hold point W= Control Visual/ Witness point R= Se requieren registros/ Records of I & T to be provided

### GRÁFICO 147

## PLAN DE CONTROL DE CALIDAD – REVESTIMIENTO DEL PIQUE DE PRESIÓN

(Fuente: Procedimiento GE-AGM-3P-01050102-MPR-131-R0 – Obras civiles del revestimiento del pique de presión)

### 3.2.4.2. Acero de Refuerzo:

#### 3.2.4.2.1. Control del material:

Las piezas de acero se pueden presentar en dos formas de despacho a obra:

- En algunos casos el acero llega habilitado o preparado desde fábrica en las formas y tamaños requeridos según planos, para ser ensambladas en el proyecto.
- En otras ocasiones, llegaban a la obra las barras enteras de 9.00 m. de longitud, para que las piezas requeridas sean habilitadas en el taller de acero.

Cualquiera que fuese el caso, se realiza el control y seguimiento de las cantidades despachadas para el armado de las estructuras requeridas.

El acero despachado al punto de trabajo debe ser rotulado e indicar lo siguiente:

- Estructura a la que pertenecía.
- Diámetro de la barra.
- Las medidas de la pieza habilitada.
- Número o nombre de la pieza y la cantidad despachada.

Este etiquetado, permite al personal operativo involucrado, identificar fácilmente las piezas de acero a unir.





**GRÁFICO 148**  
**ALMACENAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DEL ACERO DE**  
**REFUERZO**  
(Fuente: Propia)

El almacenamiento de estas barras corrugadas, debe cumplir unos requerimientos mínimos:

- Aislados del contacto directo con el suelo, humedad o agua.
- De preferencia, cubiertos con lona u otro material que los proteja de inesperadas precipitaciones pluviales.
- Toda barra corrugada, deberá estar libre de corrosión que afecte o reduzca su sección.
- Sin presencia de barro o grasa en su superficie.

#### **3.2.4.2.2. Control en la instalación:**

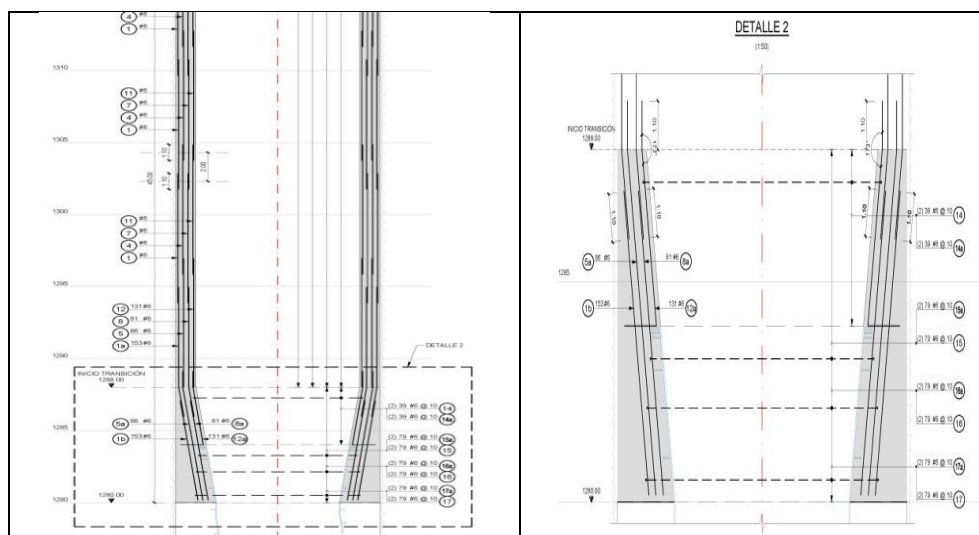
##### **VERIFICACIÓN TOPOGRÁFICA:**

Antes de dar inicio al armado del acero de refuerzo, el personal del área de topografía, realiza el replanteo topográfico de la estructura (trazo del área de trabajo, trazo de ejes y cotas, etc.).

##### **ARMADO DE ACERO DE REFUERZO:**

Solo el acero de refuerzo del tramo inferior del revestimiento (transición donde se une la tubería forzada con el revestimiento de concreto armado) fue ensamblado en el sitio. El resto del acero de refuerzo, se pre armaba fuera del pique en 04 segmentos (peso de 4 toneladas por segmento), que fueron descendidos a la posición de trabajo utilizando el puente grúa de 25 toneladas de capacidad.





**GRÁFICO 149**  
**DETALLE DE ACERO DE REFUERZO EN ZONA DE TRANSICIÓN**  
(Fuente: Plano PE-LOM-50-17050102-ARM-003-R0 – Revestimiento hormigón armado)

El control del pre armado de los 04 segmentos mencionados se realizaba de forma rutinaria, se controló:

- Las dimensiones de las piezas (longitud y diámetro).
- La distribución o espaciamiento.
- La longitud de empalme o traslape.
- La cantidad.
- El estado del acero (limpieza, desgaste, doblez, etc.).

Todo esto conforme a los planos y EETT vigentes.



**GRÁFICO 150**  
**VERIFICACIÓN DEL PRE ARMADO DEL ACERO DE REFUERZO FUERA DEL PIQUE**  
(Fuente: Propia)



**GRÁFICO 151**

**TRANSPORTE DE SEGMENTOS PRE ARMADOS Y DESCENDIDOS  
HACIA EL INTERIOR DEL PIQUE**

(Fuente: Propia)

Una vez posicionados los 04 segmentos dentro del pique de presión, se unían a través de las piezas de empalme horizontal, para así formar el anillo total requerido. Así mismo, la continuidad vertical del refuerzo de acero recién instalado, con el ya cubierto con concreto (malla inferior), se daba a través del traslape de las extensiones o mechas verticales dejadas del vaciado anterior.



**GRÁFICO 152**

**UNIÓN IN SITU DE LOS 04 SEGMENTOS PRE ARMADOS**

(Fuente: Propia)



**GRÁFICO 153**

**ZONA DE UNIÓN O EMPALME VERTICAL Y HORIZONTAL DEL  
ACERO DE REFUERZO**

(Fuente: Propia)

### **RECUBRIMIENTO DEL ACERO:**

Culminado el armado del acero, se procedía a colocar los espaciadores o dados de concreto para garantizar el recubrimiento del acero requerido (15 cm.). Estos dados, debían tener una resistencia a la compresión igual o mayor a la del concreto de revestimiento.

Como comentario personal puedo indicar que:

Se debe tener especial cuidado en que el nudo del alambre utilizado para el amarre de las barras de acero (atortolado), se realice hacia dentro de la estructura y no dejarlo hacia afuera, ya que se disminuye el recubrimiento requerido para el acero de refuerzo. Esta condición comúnmente no es tomada en cuenta al momento de construir. Se debe tener más conciencia y cuidado, cuando se trata de una estructura hidráulica como fue el caso del Pique de Presión, la cual está sometida a desgaste de la superficie de concreto por causa de la abrasión.



**GRÁFICO 154**

### **DETALLE DE AMARRE DE ALAMBRE Y COLOCACIÓN DE DADOS DE CONCRETO PARA RECUBRIMIENTO**

(Fuente: Propia)

### **COLOCACIÓN DE GUÍAS PARA POSTERIORES INYECCIONES:**

En los tramos donde se realizaría posteriormente las inyecciones de lechada de cemento, se instalaron tubos de PVC de 2" diámetro que servirían como guías para la perforación de taladros y consecuente inyección (distribuidos esquemáticamente cada 1.50 m.).

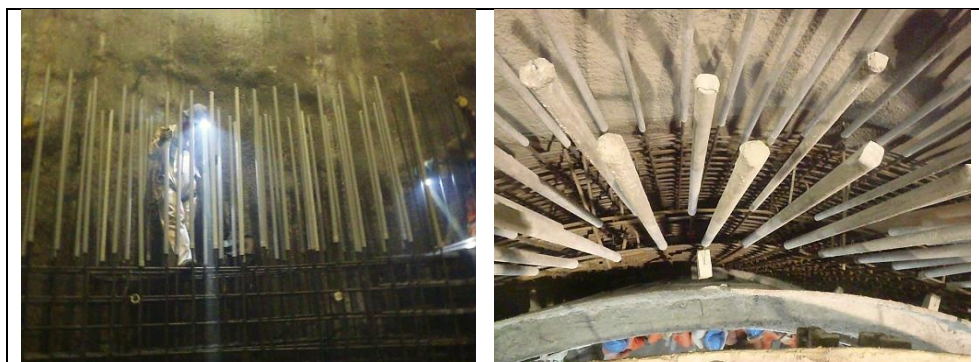




**GRÁFICO 155**  
**COLOCACIÓN DE GUÍAS ANTES DEL VACIADO PARA**  
**POSTERIORES INYECCIONES**  
(Fuente: Propia)

**CUIDADOS ADICIONALES:**

Antes de culminar esta etapa de trabajo, como parte del control preventivo, se colocaron temporalmente tubos de pvc sobre las mechas de acero verticales que quedarían expuestas después del vaciado, y las cuales permitirían realizar el empalme con la malla superior; esto realizado, con la finalidad de proteger y reducir el efecto de la salpicadura de la mezcla que se vaciaría y que “ensuciaría” esta parte del acero de refuerzo. Se tuvo como finalidad, poder minimizar los tiempos invertidos en limpieza posterior del acero vertical.



**GRÁFICO 156**  
**COLOCACIÓN DE PROTECCIÓN TEMPORAL PARA MECHAS DE**  
**ACERO VERTICAL**  
(Fuente: Propia)

### 3.2.4.3. Encofrado:

Este encofrado, al no usar tirantes sujetos hacia la roca, fue diseñado para comportarse como un anillo a compresión, formado por 04 paneles que eran suspendidos y colocados en su posición final a través de un sistema de poleas dentro la plataforma intermedia del sistema trepante. Según el estudio técnico realizado por el proveedor del encofrado, se consideró que:

- La altura de cada tanda vaciada sería de 4.00 m. (la presión del concreto colocado se limitó a 30 kN/m<sup>2</sup>).<sup>13</sup>

#### 3.2.4.3.1. Control en la instalación:

##### **VERIFICACIÓN TOPOGRÁFICA:**

El control topográfico y el uso adecuado de los demás elementos (paneles y accesorios) en esta etapa de trabajo, fue determinante para garantizar la obtención de la correcta geometría de los muros a vaciar.



**GRÁFICO 157**  
**CONTROL TOPOGRÁFICO PREVIO Y DURANTE LA**  
**INSTALACIÓN DEL ENCOFRADO**

(Fuente: Propia)

##### **COLOCACIÓN DE ENCOFRADO:**

El control en esta fase del proceso permite obtener una superficie uniforme del revestimiento, para ello se requiere:

- La limpieza rutinaria de los paneles del encofrado (sin residuos de concreto endurecido).
- La aplicación de desmoldante de madera.
- El reemplazo oportuno de los elementos deteriorados.
- El adecuado ajuste y aseguramiento del encofrado.
- El adecuado alineamiento, verticalidad y nivel de los paneles instalados.

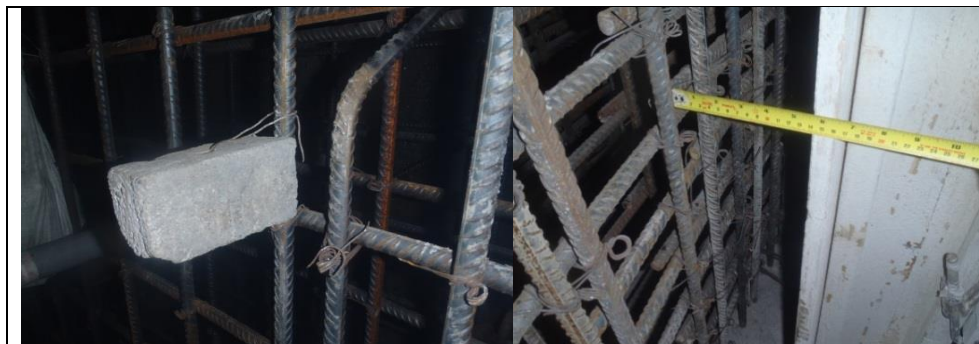
---

<sup>13</sup>. Ulma Construction, “Estudio Técnico  
C.H. Cerro del Águila Consorcio Río Mantaro Pique Ø8.00m”, 2015.



### **RECUBRIMIENTO DEL ACERO:**

Se culmina la etapa de encofrado con la revisión del recubrimiento especificado e instalación de los conos de anclaje que quedarán embebidos en el concreto, y permiten la posterior instalación de los encajes abatibles. Este cono y encaje abatible, son los elementos de apoyo para el sistema de plataformas ascendente.



**GRÁFICO 158**  
**VERIFICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO**  
(Fuente: Propia)



**GRÁFICO 159**  
**DETALLE DE CONO Y ENCAJE ABATIBLE / CONO INSTALADO**  
**PREVIO AL VACIADO**  
(Fuente: Propia)

### **DESENCOFRADO:**

En la obra, se estableció un requisito respecto al retiro de los paneles del encofrado:

- Se podían retirar los paneles, cuando el concreto vaciado haya alcanzado una resistencia a la compresión mínima de 8 MPa (80 kg/cm<sup>2</sup>), ésta condición permitía apoyar el sistema trepante sobre los encajes abatibles.<sup>14</sup>

---

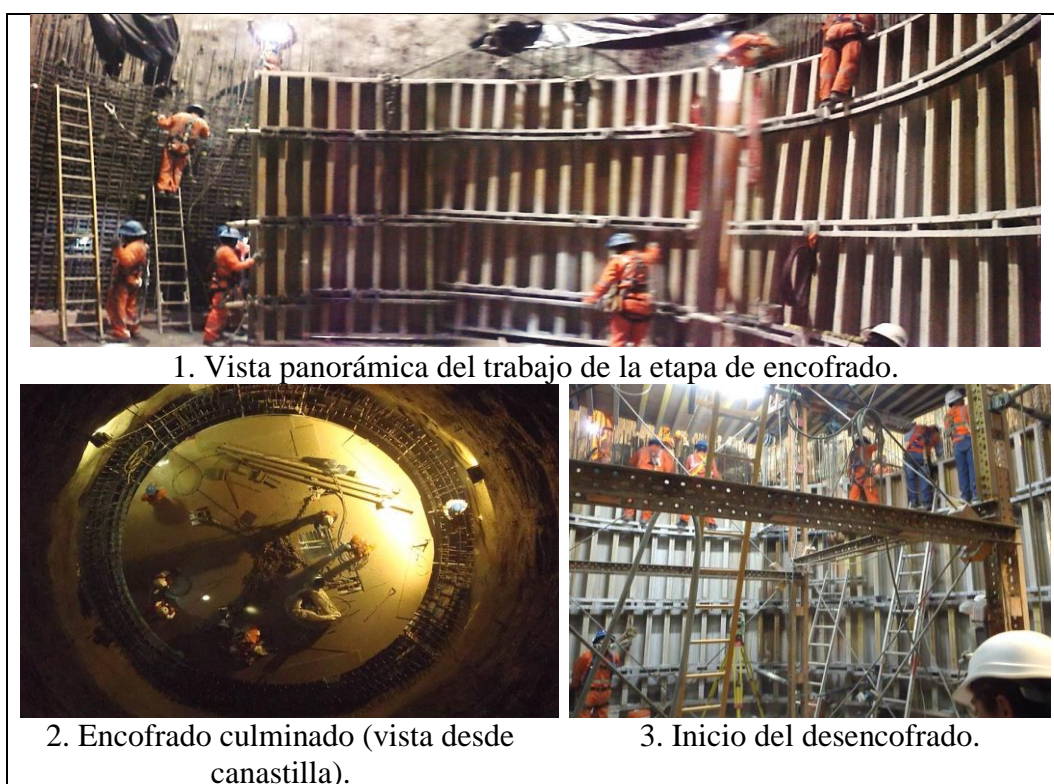
<sup>14</sup>. Ulma Construction, “Estudio Técnico  
C.H. Cerro del Águila Consorcio Río Mantaro Pique Ø8.00m”, 2015.

Según diseño de mezcla utilizado, se alcanzaba esta condición, pasadas las 12 horas del fin de vaciado.

	Resultado de ensayo de esfuerzo a la compresión de probetas cilíndricas (MPa)		
	P1	P2	PROMEDIO
12 horas	8.3	8.5	8.4
24 horas	13.7	13.9	13.8
7 días	25.6	25.4	25.5
28 días	30.2	30.5	30.4

**TABLA 013**  
**RESULTADOS A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO**  
**– DISEÑO DE MEZCLA**  
(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

Como **comentario** al **control del desencofrado**, puedo mencionar que cuando se presenta un condicionante como éste, se debe tener un estricto cuidado y comunicación fluida entre las partes involucradas en el proceso (Laboratorio, Calidad, Construcción), ya que el descuido o desinterés de aspectos relevantes como este al momento de construir, son peligros latentes que pueden tener como consecuencia productos no conformes críticos.



**GRÁFICO 160**  
**TRABAJOS DE ENCOFRADO Y DESENCOFRADO**  
(Fuente: Propia)

#### 3.2.4.4. Vaciado de concreto:

Se resume las condiciones de trabajo en esta fase del revestimiento:

- Una vez realizados los controles de la mezcla preparada por la planta de concreto instalada en obra (slump, temperatura), ésta fue transportada por mixer hacia el punto del vaciado. El tiempo transcurrido desde la salida de planta al pique de presión fue de 15 minutos en promedio.
- El vaciado de la mezcla se realizó mediante el uso de una bomba de concreto y una línea de tuberías metálicas de 5" de diámetro. En el extremo final de este conducto metálico, se acopló una tubería flexible de 5" de diámetro y 10m de longitud, que permitió el adecuado vaciado de la mezcla dentro del anillo de concreto en construcción (revestimiento del pique).
- En el punto de trabajo, se realizaron los ensayos a la mezcla fresca (temperatura, slump) y se tomaron muestras de la misma por parte del personal de laboratorio y/o calidad, a fin de determinar si el concreto se encontraba apto para ser vaciado.
- Se controló el proceso de colocación de la mezcla desde la plataforma del sistema trepante.
- En el punto de vaciado, se emplearon radios portátiles para la comunicación entre los distintos responsables de la actividad.

##### 3.2.4.4.1. Diseño de mezcla empleado:

El diseño de mezcla elaborado para el vaciado del revestimiento del pique de presión tuvo un  $f'c$  de 25 Mpa o 250 kg/cm<sup>2</sup>, además contempló la adición de 03 aditivos químicos líquidos, que permitieron alcanzar ciertas características o propiedades requeridas para el concreto elaborado, se resumen las características indicadas de las hojas técnicas de estos aditivos:

- **Sika® Viscocrete® SC 50:** Aditivo súper plastificante que permite que la trabajabilidad de la mezcla se mantenga por más tiempo (aumenta el tiempo en el que se inicia la fragua inicial del concreto sin alterar las resistencias iniciales).
- **Sika® Rapid® - 1:** Aditivo que permite acelerar el desarrollo de las resistencias iniciales (requisito requerido para el retiro de los paneles de encofrado – ver tabla 013).



- **Sika® Aer:** Aditivo incorporador de aire, que permite reducir la segregación y exudación de la mezcla, además de aumentar la impermeabilidad del concreto.

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO		DISEÑO DE MEZCLAS	
ASTALDI CONSORCIO RIO MANTARO		SG-CRM-LAB-006-DIM Rev. 2 Fecha: Octubre 2, 2013	
Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERIA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCION PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA		Obra: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA	
Cliente: CERRO DEL AGUILA S.A.		Páginas: 1 / 1	
Método del Comité 211 del ACI			
Tipo de mezcla : Concreto Convencional Pique de Presion		N° Reporte : CDM-C-250-3B	
Código de diseño : CDM-C-250-3B		Fecha : 20/06/2015	
Resistencia a compresión 28 días (MPa) : 25 Mpa			
Relación agua/cemento (SSS) : 0.43			
Asentamiento (Slump) : 8" ± 1.5"			
<b>Tipo de Materiales:</b>			
Cemento :	Andino Tipo IP		
Agregados :	Arena - Grava (5/25) Chancada Tuneles Casa de Maquinas		
Agua :	Quebrada Huayrapata		
Aditivo 1 :	Viscocrete SC-50	Dosis % :	0.75
Aditivo 2 :	Sika Rapid 1	Dosis % :	2.00
Aditivo 3 :	Sika Aer	Dosis % :	0.0083
<b>Peso específico de materiales (kg/m³)</b>			
Cemento	2980		
Aditivo 1	1090		
Aditivo 2	1270		
Aditivo 3	1010		
<b>Características de los Agregados</b>			
	Arena	Grava (5/25)	
Tamaño máximo	5 mm	1"	
Módulo de Fineza	2.8	6.8	
Peso Específico Material SSS (kg/m³)	2752	2729	
Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1736	1517	
Absorción (%)	0.80	0.80	
<b>DISEÑO EN SECO (m³)</b>			
Cemento (kg)	360		
Arena (kg)	988		
Grava (5/25) (kg)	905		
Agua (L)	170		
Viscocrete SC-50 (kg)	2.7	Aditivo en litros	
Sika Rapid (kg)	7.2	2.5	
Sika Aer (kg)	0.030	5.7	
P.U. teórico (Kg./m³)	2433	0.030	
<b>DISEÑO EN S.S.S. (m³)</b>			
Cemento (kg)	360		
Arena (kg)	996		
Grava (5/25) (kg)	912		
Agua (L)	155		
Viscocrete SC-50 (kg)	2.7		
Sika Rapid (kg)	7.2		
Sika Aer (kg)	0.030		
P.U. teórico (Kg./m³)	2433		
<b>Resultado de ensayo de esfuerzo a la compresión de probetas cilíndricas (MPa)</b>			
	P1	P2	PROMEDIO
12 horas	8.3	8.5	8.4
24 horas	13.7	13.9	13.8
7 días	25.6	25.4	25.5
28 días	30.2	30.5	30.4
Observaciones:			

**GRÁFICO 161**  
**DISEÑO DE MEZCLA EMPLEADO PARA EL REVESTIMIENTO CON**  
**CONCRETO DEL PIQUE DE PRESIÓN**  
(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

A continuación se adjuntan los ensayos realizados a los agregados (arena y piedra) componentes de la mezcla indicada:

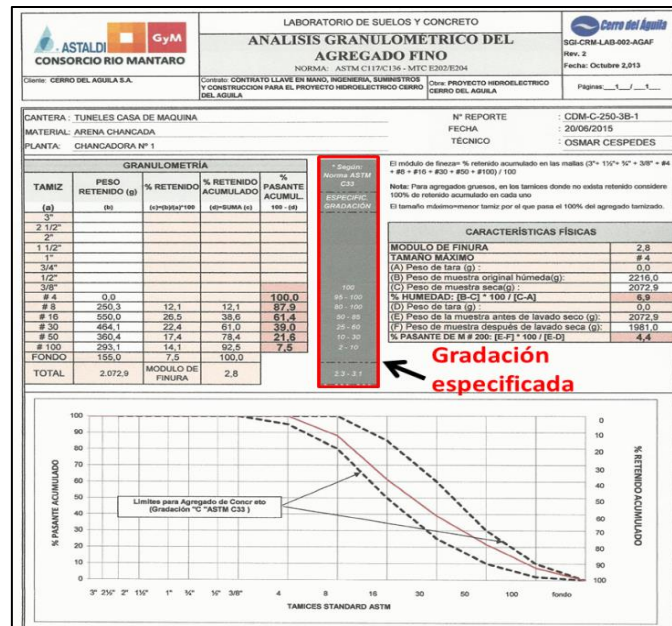
### Análisis granulométrico del agregado fino y grueso:

#### **Importancia:**

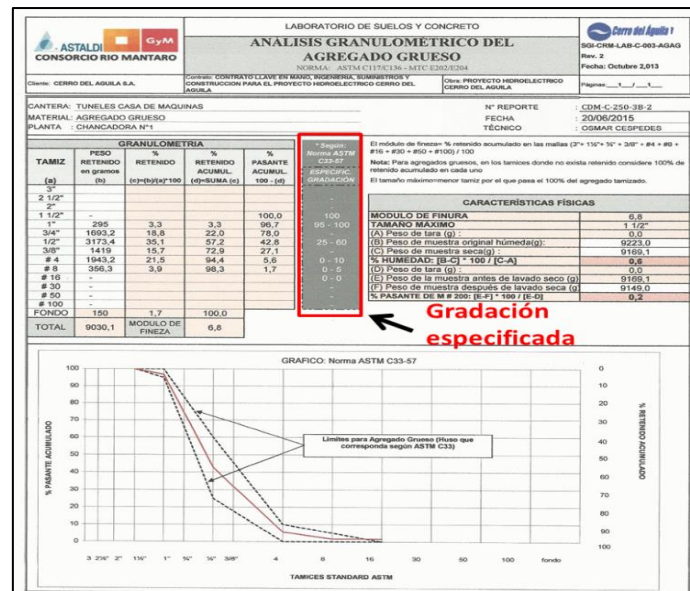
Una granulometría adecuada permitirá una adecuada trabajabilidad de la mezcla, e influye directamente en el costo de la mezcla elaborada pues ocupan el 60 a 70% del concreto.

Un exceso de material mayor al indicado será propenso a segregarse, y caso contrario, un exceso de material más fino, demandará más agua para la mezcla.

Se adjuntan a continuación los ensayos indicados en base a la norma ASTM C 33:



**GRÁFICO 162**  
**CURVA GRANULONÉTRICA OBTENIDA DE LA ARENA EMPLEADA PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO**  
(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)





**GRÁFICO 163**  
**CURVA GRANULONÉTRICA OBTENIDA DE LA PIEDRA EMPLEADA PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO**  
(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)



### Peso unitario y vacío del agregado:

**Importancia:** Los valores determinados al efectuar el ensayo permiten realizar los correctos cálculos (en peso o volumen) dentro del diseño de mezcla. Es el volumen ocupado por los agregados y por los vacíos entre las partículas del mismo. Estos vacíos aumentan si el agregado es más angular y requerirá más pasta para llenarlos.

En el siguiente gráfico se muestran los ensayos realizados a los agregados componentes de la mezcla de concreto (en base a la norma ASTM C 29):

 CONSORCIO RIO MANTARO		LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO			
		<b>PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS</b>		SGI-CRM-LAB-C-009-PUVA	
				Rev. 2	
ASTM C29    MTC E203		Obra: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA		Fecha: Octubre 2,013	
Cliente: CERRO DEL AGUILA S.A.		Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERIA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCION PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA		Páginas: ____ / ____	
CANTERA : TUNELES CASA DE MAQUINAS		N° REPORTE : CDM-C-250-3B-3			
MATERIAL : AGREGADO GRUESO Y FINO CHANCADO		FECHA : 20/06/2015			
PLANTA : CHANCADORA N° 1		TECNICO : OSMAR CESPEDES			
<b>AGREGADO GRUESO</b>					
DESCRIPCION		PESO UNITARIO SUELTO (kg/m³)		PESO UNITARIO COMPACTADO (kg/m³)	
		1	2	3	4
Peso del recipiente + muestra	(g.)	30626	30598		
Peso del recipiente	(g.)	9040	9040		
Peso de la muestra	(g.)	21586	21558		
Volumen	(cc)	14220	14220		
Peso unitario suelto	(g/cc)	1,518	1,516		
PROMEDIO	(g/cc)	1,517			
<b>AGREGADO FINO</b>					
DESCRIPCION		PESO UNITARIO SUELTO (kg/m³)		PESO UNITARIO COMPACTADO (kg/m³)	
		1	2	3	4
Peso del recipiente + muestra	(g.)	14773	14789		
Peso del recipiente	(g.)	2456	2466		
Peso de la muestra	(g.)	12317	12333		
Volumen	(cc)	7099	7099		
Peso unitario suelto	(g/cc)	1,735	1,737		
PROMEDIO	(g/cc)	1,736			

**GRÁFICO 164**

### **RESULTADOS DEL ENSAYO – PESO UNITARIO Y VACÍO DE LOS AGREGADOS**

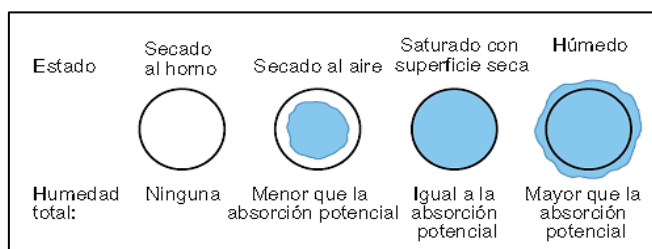
(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

La masa volumétrica aproximada del agregado comúnmente usado en el concreto de peso normal varía de 1200 a 1790 kg/m³.<sup>15</sup>

### Gravedad específica y absorción del agregado fino y grueso:

**Importancia:** La gravedad específica del agregado permite conocer su calidad como agregado, y realizar los correctos cálculos (en peso o volumen) dentro del diseño de mezcla. En tanto, la absorción del agregado influye directamente en la relación agua/cemento (calidad de la mezcla).

<sup>15</sup>. “Diseño y control de mezclas de concreto” – Portland Cement Association






**GRÁFICO 165**

**CONDICIONES DE HUMEDAD DEL AGREGADO**

(Fuente: “Diseño y control de mezclas de concreto” – Portland Cement Association)



En el siguiente gráfico se muestran los ensayos realizados a los agregados componentes de la mezcla de concreto (en base a la norma ASTM C 127 y C 128):

  CONSORCIO RIO MANTARO		LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO		 SGI-CRM-LAB-C-007-GEAF Rev.2 Fecha: Octubre 2, 013	
		<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</b> NORMA ASTM C128 MTC E205			
Cliente: CERRO DEL AGUILA S.A.		Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERIA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCION PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA	Obras: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA	Página: 1 / 1	
DATOS DE LA MUESTRA					
MUESTRA	:	AGREGADO FINO CHANCADO LAVADO	REPORTE N°	: CDM-C-250-3B-4	
CANTERA	:	TUNELES CASA DE MAQUINAS	FECHA	: 20/06/2015	
PLANTA	:	CHANCADORA N° 1	TECNICO	: OSMAR CESPEDES	
AGREGADO FINO					
		M - 1	M - 2	M - 3	PROMEDIO
A	Peso muestra saturada con superficie seca (g)	501,5	502,4		
B	Peso fiola o frasco con agua (g)	670,4	675,3		
C	Peso muestra saturada dentro del agua + fiola o frasco (g)	990,3	994,5		
D	Peso muestra seca en horno @ 105°C (g)	497,5	498,4		
E	Peso muestra saturada dentro del agua (g)	319,9	319,2		
	Peso específico de masa - P.E.M. (g/cm3)	2,740	2,721		
	<b>PESO ESPECÍFICO DE MASA S.S.S. (g/cm3)</b>	<b>2,762</b>	<b>2,742</b>		<b>2,752</b>
	Peso específico aparente - P.E.A. - (g/cm3)	2,801	2,781		
	<b>ABSORCIÓN (%)</b>	<b>0,80</b>	<b>0,80</b>		<b>0,80</b>

**GRÁFICO 166**

**RESULTADOS DEL ENSAYO – GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO**

(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

		LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</b> NORMA ASTM C127		 SGI CRM-LAB-C-007-GEAF Rev.2 Fecha: Octubre 2,015
Cliente: CERRO DEL ÁGUILA S.A.		Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERÍA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCIÓN PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL ÁGUILA		Objeto: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL ÁGUILA
CANTERA : TUNELAS CASA DE MAQUINAS MUESTRA : AGREGADO GRUESO CHANCADO PLANTA : CHANCADORA Nº 1		REPORTE Nº : CDM-C-250-3B-5 FECHA : 20/06/2015 TECNICO : OSMAR CESPEDES		
		M - 1	M - 2	PROMEDIO
A	Peso muestra saturada con superficie seca (g)	5395	5428	
B	Peso muestra saturada dentro del agua (g)	3419	3438	
C	Peso muestra seca en horno @ 110°C ± 5°C (g)	5352	5385,0	
D	Peso específico de masa - P.E.M. (g/cm3)	2,709	2,706	
E	PESO ESPECÍFICO S.S.S. (g/cm3)	2,730	2,728	2,729
	Peso específico aparente - P.E.A. - (g/cm3)	2,769	2,766	
	ABSORCIÓN (%)	0,80	0,80	0,80

**GRÁFICO 167**  
**RESULTADOS DEL ENSAYO – GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO**  
(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

El valor del Peso o Gravedad específica obtenido, sirvió como dato para los cálculos del diseño de mezcla (conocer el volumen ocupado por el agregado dentro de 1m<sup>3</sup> de mezcla).

La mayoría de los agregados normales tienen masas específicas relativas que varían de 2.4 a 2.9 gr/cm<sup>3</sup>.<sup>16</sup>

Los agregados grueso y fino generalmente tienen niveles de absorción (contenido de humedad a SSS – Saturado con Superficie Seca) que varían del 0.2% al 4% y del 0.2% al 2%, respectivamente.<sup>17</sup>

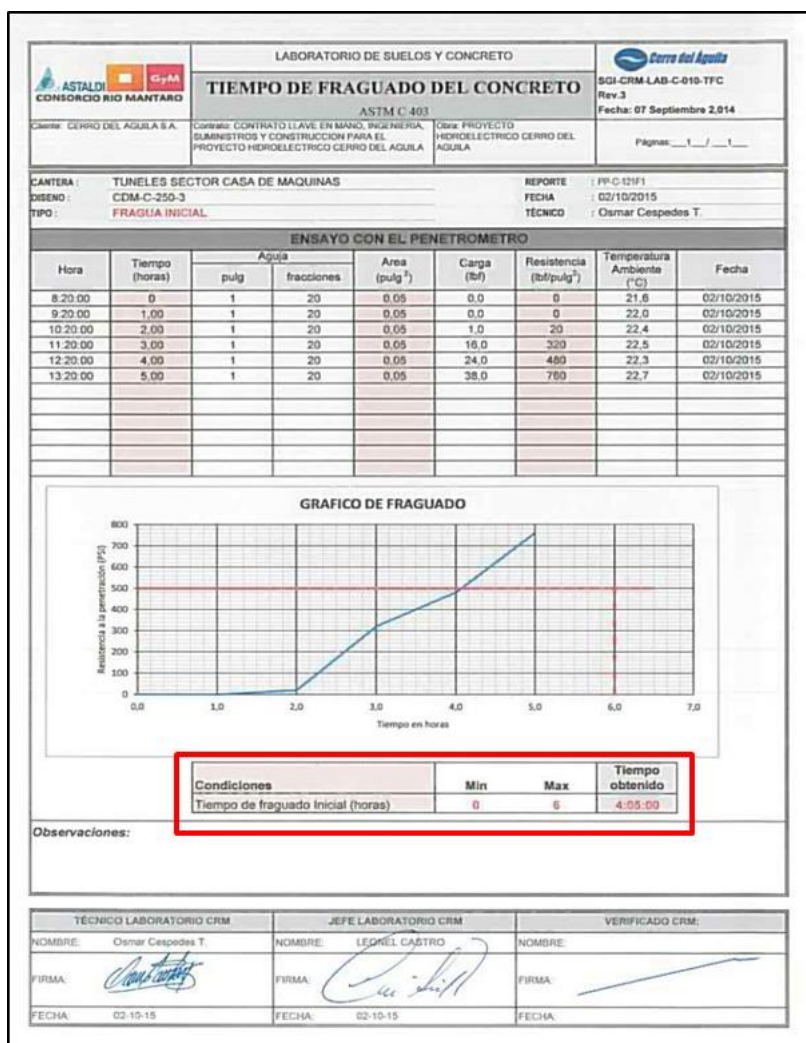
### Tiempo de fraguado del concreto:

**Importancia:** Permite conocer el tiempo en el que se alcanza la fragua inicial y final de la mezcla.

A continuación se muestra el resultado obtenido para la mezcla de concreto diseñada en obra:

Según ensayo ejecutado para el tiempo de fraguado inicial del concreto empleado, se conoció que este se daba a las 4 horas de elaborada la mezcla (se alcanzó una resistencia a la penetración de 500 psi o 3.50 MPa, según lo estipulado en la norma ASTM C 403):

<sup>16,17</sup>. “Diseño y control de mezclas de concreto” – Portland Cement Association






**GRÁFICO 168**  
**RESULTADO DEL ENSAYO – TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL DE LA MEZCLA**  
(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

### Resistencia a compresión de testigos cilíndricos:

**Importancia:** Permite conocer la resistencia de la mezcla ante la carga axial.

Se muestra a continuación los resultados de los ensayos de resistencia ejecutados para las muestras de mezcla preparadas en la elaboración del diseño de mezcla:

  CONSORCIO RIO MANTARO			LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO													 SGI-CRM-LAB-007-RECP Rev. 2 Fecha: Octubre 2,013					
Cliente: CERRO DEL AGUILA S.A.			RESISTENCIA A LA COMPRESION TESTIGOS CILINDRICOS (el muestreo consta de 4 probetas). NORMA ASTM C39 MTC 704													Obra: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL AGUILA			Páginas: 1 / 1		
AGREGADOS PARA EL DISEÑO			: GRUESO CHANCADO - FINO CHANCADO LAVADO : CDM-C-250-3B													REPORTE N°			: CDM-C-250-3B-6		
																FECHA			: 20/06/2015		
																TÉCNICO			: OSMAR CESPEDES		

ITEM	UBICACION / ELEMENTO	Código de Probeta	AGUA / CEMENTO	Cemento (Kg/cm3)	ADITIVO			SLUMP (Pulg.)	FECHA DE VACIADO	EDAD (días)	FECHA DE ROTURA	Diámetro (cm)	ALTURA (cm)	PESO (kg)	ÁREA (cm2)	CARGA (Kg)	RESISTENCIA (MPa)	PROMEDIO RESISTENCIA (MPa)	f <sub>c</sub> (%)	PROMEDIO f <sub>c</sub> (%)
1	Diseño de Mezcla	1	0.43	360	0.75	0.0083	2.00	9"	20-jun	12	20-may	15.40	30.50	13.190	186.3	15811	8.3	8.4	33.3	33.7
2		2								Horas		15.40	30.50	13.133	186.3	16207	8.5		34.1	
3		3								1	21-jun	15.40	30.60	13.124	186.3	26114	13.7	13.8	55.0	55.3
4		4										15.40	30.60	13.104	186.3	26387	13.9		55.6	
5		5								7	27-jun	15.20	30.60	13.068	181.5	47285	25.6	25.5	102.2	101.9
6		6										15.20	30.50	13.096	181.5	46969	25.4		101.5	
7		7								28	18-jul	15.20	30.20	13.100	181.5	55794	30.2	30.4	120.6	121.4
8		8										15.20	30.30	13.215	181.5	56528	30.5		122.2	

**GRÁFICO 169**

## RESULTADOS DEL ENSAYO – RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILÍNDRICOS

(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

En obra, los testigos cilíndricos muestreados, tuvieron los siguientes requisitos mínimos de resistencia a la compresión a estas edades:

- **8 MPa (80 kg/cm<sup>2</sup>) a las 12 horas** (dato requerido para el proceso de encofrado y desencofrado).
- **25 MPa (250 kg/cm<sup>2</sup>) a los 28 días.**

### 3.2.4.4.2. Controles previos al vaciado:

#### SERVICIOS:

Previo al inicio del vaciado del concreto, se aseguró el correcto funcionamiento de los distintos servicios que complementan el buen desempeño de los equipos y por ende de la actividad, tales como:

- Servicios eléctricos.
- Servicios de agua.
- Iluminación.
- Ventilación.

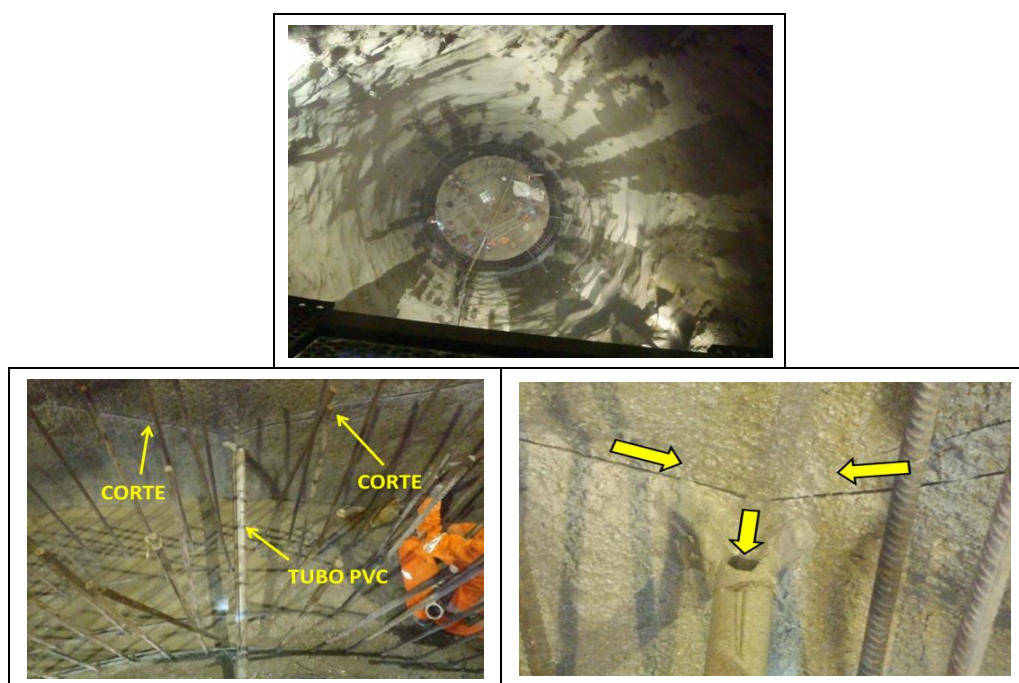
#### PREPARACIÓN DEL ÁREA DE VACIADO:

Antes de dar inicio al vaciado, se aseguró que la superficie que recibiría la mezcla estuviera:



- Limpia y libre de polvo, para esto se aplicaba un chorro de agua y aire a presión (2 bar aproximadamente).
- Libre de acumulación de agua, proveniente en algunos casos, de filtraciones propias del estrato. Para el caso de presencia de agua subterránea, se realizaron trabajos de encausamiento del flujo sobre el tramo a vaciar.

En la gráfica a continuación, se puede apreciar el proceso de encausamiento por filtración de agua subterránea sobre un tramo de revestimiento recién vaciado:



**GRÁFICO 170**  
**PROCESO DE ENCAUSAMIENTO POR FILTRACIÓN DE AGUA**  
**SUBTERRÁNEA**  
(Fuente: Propia)

Dentro del gráfico 170, se puede observar que en la imagen superior se aprecia la filtración de agua a través de la roca en interior del pique, en la imagen inferior izquierda se aprecia el corte en “v” realizado en la superficie rocosa (2mm de espesor y 5cm de profundidad) y la colocación de tubería pvc para el encausamiento de la del agua filtrada, y por último, en la imagen inferior derecha se puede apreciar más a detalle el trabajo de encausamiento del agua subterránea.

#### 3.2.4.4.3. Control de la mezcla fresca:

Una vez dado el visto bueno de la mezcla para su salida de planta, se trasladó en el camión mixer hacia el punto de vaciado con una guía de despacho, donde se indicaba lo siguiente:

- Lugar donde se enviaba la mezcla (punto de vaciado).
- Fecha y hora de salida de planta.
- Slump y temperatura de la mezcla tomados en planta.
- Código de camión mixer.
- Volumen de mezcla.
- Código de diseño de mezcla.
- Cantidad de agua y aditivo plastificante retenido.

De la experiencia rescatada de esta fase del proceso de revestimiento, puedo acotar que:

- Se debe tener estricto control en la adición del agua y/o aditivo plastificante **retenido** de una batchada de mezcla, ésta porción de agua o aditivo guardado para realizar algún “ajuste o corrección” de la trabajabilidad de la mezcla, **se calcula en función del volumen de mezcla preparada** para un camión mixer. No es lo mismo adicionar toda la cantidad retenida de agua o aditivo al principio del vaciado del mixer (volumen de mezcla completo), que después de haberse vaciado más de la mitad del mismo.

Ya en el lugar de vaciado, se toma una muestra representativa de mezcla, sobre la cual se ejecutan los ensayos requeridos en el PCQ del Revestimiento del pique de presión (**ver gráfico 147**).

#### **CONTROL DE ASENTAMIENTO (SLUMP):**

Este ensayo se realizó según lo indicado en la norma ASTM C 143. Esta prueba es realizada empleando el cono de Abrams, y nos permite conocer la consistencia de la mezcla preparada a través de la medida del asentamiento vertical que presenta. Esta medida nos permite conocer que tan trabajable está la mezcla para su vaciado. Para esto, se cumplía con verificar el asentamiento indicado en el diseño de la mezcla usado en obra, el cual fue de  $8 \pm 1.5$ ”.



**GRÁFICO 171**  
**MEDIDA DEL ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA**  
(Fuente: Propia)

### **CONTROL DE TEMPERATURA AMBIENTE Y DE LA MEZCLA:**

Este ensayo se realizó según lo indicado en la norma ASTM C 1064. La temperatura fue medida con un termómetro debidamente calibrado. Este valor nos permitió conocer en que condición se vaciaba la mezcla, y si se presentarían problemas de fraguado anticipado o que condiciones de curado aplicar cuando la temperatura se presentaba cerca al límite establecido.

La temperatura máxima permitida en obra fue de 32°C.



**GRÁFICO 172**  
**MEDIDA DE LA TEMPERATURA DE LA MEZCLA**  
(Fuente: Propia)

### **PESO UNITARIO Y RENDIMIENTO:**

Este ensayo se realizó según lo indicado en la norma ASTM C 138.

Permite conocer la densidad o peso unitario de la mezcla preparada (mezcla fresca), y a partir de este dato, obtener el rendimiento de la mezcla al compararla con su densidad teórica de diseño. Al obtener esta información, se

permite conocer si existe algún cambio significativo en el desempeño de la mezcla producida.



**GRÁFICO 173**  
**ENSAYO DE PESO UNITARIO DE LA MEZCLA**  
(Fuente: Propia)

**MUESTREO DE PROBETAS DE CONCRETO PARA ENSAYO A COMPRESIÓN:**

El muestreo cumplió lo indicado en la norma ASTM C 31. Este muestreo se realiza en moldes cilíndricos de altura igual a dos veces el diámetro del mismo (6 x 12 pulgadas  $\approx$  15 x 30 centímetros).

La frecuencia de este muestreo estuvo indicada en el PCQ de Revestimiento (**ver gráfico 147**):

01 muestreo por día o por cada 120m<sup>3</sup> de concreto producido, 02 para cada edad requerida: Para 12 horas (dato requerido para el desencofrado), 07 días y 28 días.



**GRÁFICO 174**  
**MUESTREO DE PROBETAS PARA ENSAYO A COMPRESIÓN**  
(Fuente: Propia)

#### 3.2.4.4.4. Control en la colocación o vaciado:

Según el estudio técnico realizado por el proveedor del encofrado, se consideró lo siguiente para la construcción del revestimiento:

- La altura de cada tanda vaciada sería de 4.00 m. y a una velocidad de vaciado de 0.76 metro/hora.

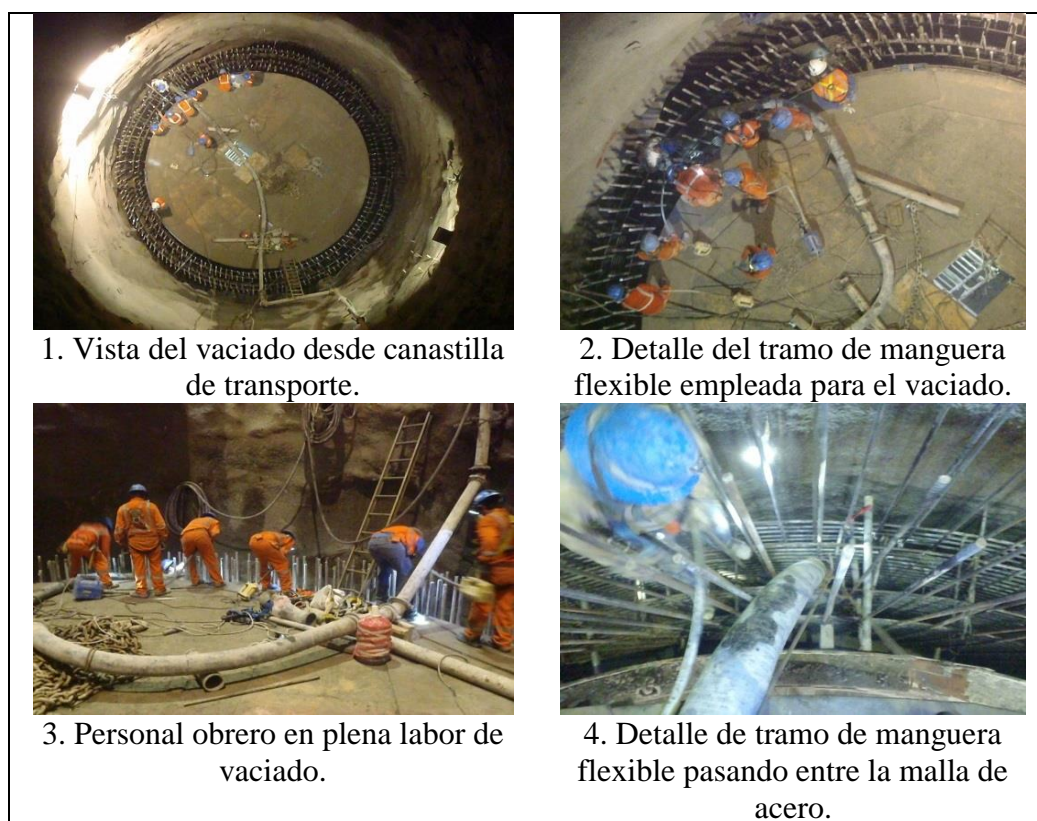
La calidad del concreto vaciado y el correcto desempeño del mismo en la estructura, depende en primera instancia del adecuado diseño de mezcla, pero en esta etapa se vuelve importante también la educada técnica empleada para su colocación en la estructura:

- Para evitar la segregación del concreto colocado, se controla la distancia y posición vertical de la manguera flexible desde donde se coloca la mezcla y el punto de recepción o ubicación final, respetando una altura de caída libre no mayor a 1.50 m.
- Verificar que la manguera utilizada para depositar la mezcla, pase entre la malla de acero de refuerzo hasta su posición final, esto para evitar que la mezcla colocada rebote sobre la malla de refuerzo y el encofrado, lo que provocaría su segregación y la aparición de cangrejeras.
- El concreto se debe colocar en capas y consolidarse mediante vibración, hasta obtener la mayor densidad posible, de manera que quede libre de vacíos en cantidad excesiva, producidos por partículas de agregado grueso y burbujas de aire (en nuestro caso el concreto fue consolidado con ayuda de vibradores tipo aguja y de contacto, estos últimos amarrados al encofrado).
- Durante la consolidación, el vibrador tipo aguja, debe operarse a intervalos regulares y frecuentes, en posición casi vertical y con su cabeza sumergida profundamente dentro de la mezcla. Mientras que el vibrador de contacto, se opera en la zona donde se va colocando la mezcla.
- No se colocaba una nueva capa de concreto, si la precedente no está debidamente consolidada.





**GRÁFICO 175**  
**DESCARGA DE LA MEZCLA EN LA TOLVA DE LA BOMBA**  
(Fuente: Propia)



**GRÁFICO 176**  
**VACIADO DE CONCRETO**  
(Fuente: Propia)



**GRÁFICO 177**

**VIBRADO DE LA MEZCLA COLOCADA**

**(Izquierda: Uso de vibradores tipo aguja / Derecha: Uso de vibradores de contacto)**

(Fuente: Propia)

**3.2.4.4.5. Tratamiento de juntas de construcción:**

Con la finalidad de asegurar una mejor adherencia entre fases de concreto (entre paños verticales de 4.00 m de altura), se realizaron los siguientes tratamientos de junta después de cada vaciado ejecutado:

**TRATAMIENTO SUPERFICIAL – “CORTE VERDE”:**

Culminada la colocación de la mezcla y en el momento que el concreto empezaba a endurecer, se realizaba este primer tratamiento superficial, aplicando agua + aire a presión sobre la cara superior del tramo recién vaciado (2 bar aproximadamente), hasta obtener una apariencia rugosa, con agregados expuestos y pasta superficial removida.

Se puede tomar como referencia del momento oportuno para realizar esta operación, cuando el concreto llega al punto en el que al pisarlo no se dejan huellas contundentes sobre él, y cuando al tacto se siente cierta dureza y al mismo tiempo exista una capa superficial de pasta de 1 a 2 cm.

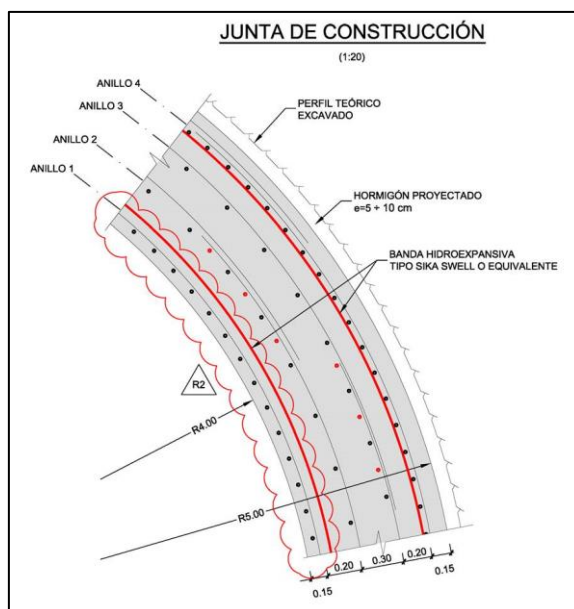
Normalmente esta actividad se realizaba transcurridas 02 horas de finalizado el vaciado (a mitad del tiempo estipulado para el fraguado inicial del concreto).



**GRÁFICO 178**  
**TRATAMIENTO SUPERFICIAL – “CORTE VERDE”**  
(Fuente: Propia)

### **PERFIL O BANDA HIDROEXPANSIVA:**

Con el fin de asegurar la impermeabilidad en las juntas de construcción de cada etapa de muros vaciada, se instaló el perfil hidroexpansivo **SikaSwell® A**, de acuerdo a lo indicado en los planos vigentes.



**GRÁFICO 179**  
**DETALLE DE BANDA HIDROEXPANSIVA EN JUNTA DE CONSTRUCCIÓN**  
(Fuente: Plano PE-LOM-50-17050102-ARM-004-R2 – Revestimiento hormigón armado)

Esta banda tiene la propiedad de expandirse al contacto con el agua, la expansión no es inmediata, sino gradualmente (aproximadamente de un 50%

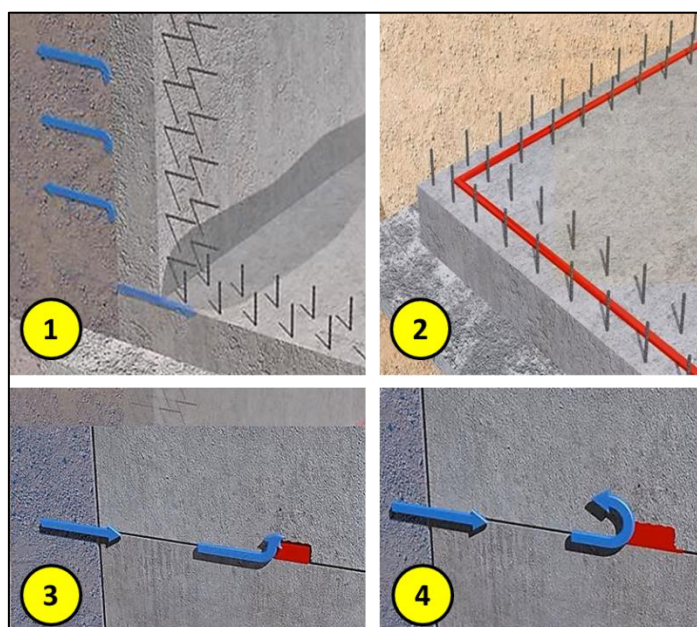


de su dimensión original a las 24 horas), y al hacerlo permite sellar la junta y cerrar el paso de flujo de agua a través de ella.



**GRÁFICO 180**

**DIMENSIONES DE LA BANDA HIDROEXPANSIVA SIKASWELL® A**  
(Fuente: Propia)



**GRÁFICO 181**

**ACCIÓN DE LA BANDA HIDROEXPANSIVA SIKASWELL® A**  
(1. Ingreso de agua a través de la junta por falta de banda hidroexpansiva. /  
2. Instalación de banda hidroexpansiva. / 3,4. Retorno de flujo de agua por  
presencia de banda hidroexpansiva)

(Fuente: Sika Services AG 2014 – Durable Joint Sealing)

El **control durante la instalación** de la banda hidroexpansiva fue el siguiente:

- La superficie de concreto debe estar seca y limpia, sin presencia de partículas que puedan afectar la adherencia del elemento.
- Se coloca una franja de un pegamento compatible (se empleó **SikaSwell® S-2**), mediante el cual la banda se fijará al concreto.
- Sobre esta franja de pegamento se adhiere el perfil, presionándolo levemente, teniendo en cuenta que no queden partes mal pegadas.
- Si se requiere hacer empalmes o uniones, estos deben traslaparse unos 10 centímetros.
- Esta banda hidroexpansiva, debe colocarse a no menos de 8.00 cm del borde del concreto existente.
- En toda la etapa de instalación, debe de cuidarse de no dañar o cortar la banda, y evitar el contacto con agua antes de tiempo (no usar perfiles ya en proceso de expansión).



**GRÁFICO 182**  
**INSTALACIÓN DE LA BANDA HIDROEXPANSIVA SIKASWELL® A**  
(Fuente: Propia)



### **CAPA DE MORTERO:**

Instantes antes del vaciado de la mezcla de concreto fresco, se colocaba una capa de mortero (de aproximadamente 2.00 cm), esta mezcla al ser más fluida que el concreto, garantiza llenar totalmente los pequeños espacios generados por la rugosidad de la superficie del concreto endurecido, obtenida por el tratamiento de “corte verde”.



**GRÁFICO 183**  
**COLOCACIÓN DE CAPA DE MORTERO PREVIO A LA MEZCLA DE**  
**CONCRETO**  
(Fuente: Propia)

#### **3.2.4.5. Control de la mezcla endurecida:**

##### **CURADO:**

En las condiciones de la obra, se estableció la siguiente frecuencia y forma de curado del concreto colocado:

- Primero se realizó el curado permanentemente con agua, por un tiempo mínimo de 02 días, para luego ser curado mediante un agente químico (Curador líquido aplicado por aspersión. Crea una especie de membrana impermeable que impide la pérdida excesiva de humedad del concreto en su etapa de endurecimiento).

La forma de curado a través de aspersión o chorro de agua manual, tiene la seria desventaja de que puede ser fácilmente descuidado o no tomado en cuenta. El compromiso y estricto control de esta actividad es fundamental para garantizar el correcto desarrollo de resistencias en el concreto.



**GRÁFICO 184**  
**CURADO DEL CONCRETO CON CHORRO DE AGUA**  
(Fuente: Propia)

### **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:**

La resistencia a la compresión se realiza a través de la rotura de testigos cilíndricos (conforme a la norma ASTM C 39). Los testigos obtenidos fueron corregidos (si fuera necesario) en su relación Longitud/Diámetro (cuando L/D es menor o igual a 1.75) multiplicando por el factor de corrección de resistencia indicado en la norma en mención.

Relación L/D	Factor de Corrección de Resistencia
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

**TABLA 014**  
**FACTOR DE CORRECCIÓN PARA CADA RELACIÓN L/D**  
(Fuente: Norma ASTM C 39)

En obra, los testigos cilíndricos muestreados, tuvieron los siguientes requisitos mínimos de resistencia a la compresión a estas edades:

- **8 MPa (80 kg/cm<sup>2</sup>) a las 12 horas** (dato requerido para el proceso de encofrado y desencofrado).
- **25 MPa (250 kg/cm<sup>2</sup>) a los 28 días.**

Se aceptaron los resultados si (norma ACI 318):

- **Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior al  $f'_c$  especificado.**

- Cuando  $f'_c$  es menor o igual a 35 MPa:

**Ningún resultado individual del ensayo de resistencia (promedio de dos cilindros) resulte menor que  $f'_c$  por más de 3.50 MPa.**

- Cuando el  $f'_c$  es mayor a 35 MPa:  
Ningún resultado individual del ensayo de resistencia (promedio de dos cilindros) resulte menor por más del 10% del  $f'_c$ .

Para la evaluación estadística de esta tesis, no se tomó en cuenta este último apartado, ya que el  $f'_c$  del concreto empleado en obra No es mayor a 35 MPa o 350 kg/cm<sup>2</sup>.

La comprobación de estas condiciones de resistencia  $f'_c$ , serán verificadas en el **Anexo 06** de esta tesis (perteneciente al **Capítulo V: Resultados resumidos de control de calidad**).



**GRÁFICO 185**  
**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PRENSA**  
**HIDRÁULICA**  
(Fuente: Propia)

### 3.2.5. Control de los resanes y/o reparaciones del revestimiento:

El agua que transita constantemente a través del túnel hidráulico, influye directamente en el desgaste y la vida útil del revestimiento construido. Es por eso que en esta etapa de trabajo, se realizaron los **resanes** y **reparaciones** requeridos si era el caso, para garantizar el adecuado desempeño y duración del revestimiento del pique antes de entrar en funcionamiento.

Definimos estos dos conceptos para poder diferenciarlos:

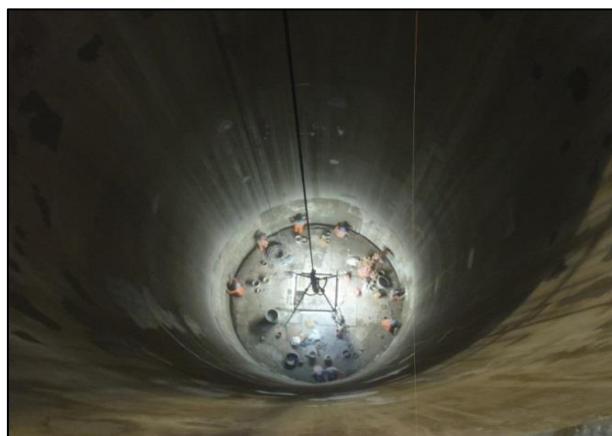
- **RESANE:** Subsanan los desperfectos superficiales presentes en la estructura de concreto.
- **REPARACIÓN:** Recuperar la geometría original de la estructura mediante una reparación mayor, que en algunos casos necesita aplicar un refuerzo adicional al ya construido.

La actividad de resanes y/o reparaciones **fue realizada después de la etapa de inyecciones**, y se centró en:

- Recuperar la geometría requerida de la superficie de concreto armado (exceso o defecto de volumen en la pared del revestimiento).
- La reparación de la superficie con presencia de fisuras y cangrejeras a lo largo del revestimiento.
- La eliminación de los orificios presentes en la superficie terminada, generados por las burbujas de aire atrapado que aparecen en la etapa del vaciado del concreto.

#### 3.2.5.1. Equipos principales usados:

- Puente grúa con carros de 5 y 25 toneladas.
- Taladro percutor y cortadora manual de concreto (cortadora con disco).
- Herramientas de albañilería: Regla, badilejo, nivel, brocha, comba, cincel.



**GRÁFICO 186**  
**CUADRILLA TRABAJANDO – VISTA DEL INTERIOR DEL PIQUE**  
(Fuente: Propia)

### 3.2.5.2. Plan de Control de Calidad – Resane y/o Reparaciones de concreto en estructuras hidráulicas:

Se estableció el siguiente Plan de Control de Calidad (PCQ) para esta etapa de trabajo:

 <b>CONSORCIO RIO MANTARO</b>		<b>PLAN DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>RESANES Y REPARACIONES DE CONCRETO EN ESTRUCTURAS</b> <b>HIDRÁULICAS</b> <b>GE-AGM-3P-01XXXXXX-MPR-142-R0-PCQ</b>						 <b>Cerro del Águila</b> SGI-CRM-GC-025-PCQ Rev. 3 Fecha: 16/09/2013					
Cliente: CERRO DEL ÁGUILA S.A.		Contrato: CONTRATO LLAVE EN MANO, INGENIERÍA, SUMINISTROS Y CONSTRUCCIÓN PARA EL PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL ÁGUILA				Obra: PROYECTO HIDROELECTRICO CERRO DEL ÁGUILA		Página 1 de 2					
PREPARADO POR (RCQ): 		VERIFICADO POR (RUT): 				APROBADO POR (RM): 		FECHA: 20/09/2015					
N°	FASE DEL PROCESO	CARACTERÍSTICAS DE LAS PRUEBAS/ INSPECCIONES Y ENSAYOS	Tipo de Prueba	CRITERIOS DE ACEPTACION	FRECUENCIA	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	REGISTROS PARA EMITIR/ VERIFICAR	EQUIPO UTILIZADO	RESPONSABILIDADES				
									Construcción	Fecha	Control de Calidad	Fecha	Cliente
1	CONTROL DE MATERIALES	Almacenamiento adecuado de los materiales a utilizar.	H/ R	Información técnica de los materiales.	A la llegada y antes del uso de materiales.	Información técnica de los materiales.	SGI-CRM-GC-022-RSO/ SGI-CRM-GC-023-RIR/ SGI-CRM-GC-029-IDTAG	N.A	W	W			
		Certificados de calidad de los materiales.	H/ R	Información técnica de los materiales.	Por cada tipo de material según lotes de compra, etc.	EE.TT. del proyecto.	SGI-CRM-GC-022-RSO/ SGI-CRM-GC-023-RIR/ SGI-CRM-GC-029-IDTAG	N.A	W/ R	W			
2	PREPARACION DE LA SUPERFICIE A RESANAR O REPARAR	Identificación de la reparación, por exceso, por defecto, burbujas	H/ R	Planos para Construcción, EE.TT. del proyecto.	Para cada Reparación.	Planos para Construcción/ EE.TT. del proyecto	SGI-CRM-QC-003-LEC	N.A	H	R			
3	APLICACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE RESANE O REPARACION	Verificar aplicación del producto indicado según tipo de resane o reparación.	H/ R	Ficha Técnica del fabricante del producto.	Para cada Reparación.	EE.TT. del proyecto, Ficha Técnica del fabricante del producto.	SGI-CRM-QC-055-REC	N.A.	H	R			
4	CONTROL POST TRATAMIENTO	Inspección visual adherencia y fisuras, curado de las superficies tratadas.	W/ R	Ficha Técnica del fabricante del producto.	Para cada Reparación.	EE.TT. del proyecto, Ficha Técnica del fabricante del producto.	SGI-CRM-QC-055-REC	N.A.	H	R			

**GRÁFICO 187**  
**PLAN DE CONTROL DE CALIDAD – RESANE Y/O REPARACIONES**  
**DE CONCRETO EN ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS**  
(Fuente: Procedimiento GE-AGM-3P-01XXXXXX-MPR-142-R0 – Resane y reparaciones de concreto en estructuras hidráulicas)



### 3.2.5.3. Control de materiales:

En el procedimiento de trabajo, se estableció el uso de los siguientes productos para determinadas deficiencias encontradas:

REPARACIÓN DE CONCRETO PICADO, CONCRETO EN EXCESO O DEFECTO Y/O REPARACIÓN DE CANGREJERAS Y FISURAS		ORIFICIOS POR PRESENCIA DE BURBUJAS DE AIRE
PUENTE DE ADHERENCIA	MORTERO DE REPARACIÓN	MASILLA PARA REPARACIONES
SIKADUR 32	SIKA ABRAROC PE	PER POX 31 GEL M

**TABLA 015**

### **PRODUCTOS UTILIZADOS PARA LAS PATOLOGÍAS ENCONTRADAS EN EL REVESTIMIENTO**

(Fuente: Procedimiento GE-AGM-3P-01XXXXXX-MPR-142-R0)

**Puente de adherencia (Sikadur® 32 Gel):** Adhesivo a base de resina epóxica, y que resulta como producto de la mezcla de dos componentes presentados en recipientes individuales. Usado en nuestro caso como una capa ligante o puente de adherencia entre el concreto endurecido a reparar y el mortero de reparación a ser aplicado.

**Mortero de reparación (Sika® Abraroc PE):** El mortero escogido para la actividad, es un mortero resistente a la abrasión y de rápido endurecimiento (según hoja técnica de producto, alcanza una resistencia a la compresión de 30 Mpa a las 6 horas), viene predosificado, listo para mezclarse con agua y ser aplicado.

**Masilla para reparaciones (Per Pox 31M):** Masilla a base de resina epóxica y resistente a la abrasión, resulta de la mezcla de dos componentes. En nuestro caso empleada para el relleno de los orificios originados por la oclusión de aire en la mezcla.

El control de los materiales mencionados se realiza desde su llegada a obra (por cada lote) y dentro de su uso en las actividades diarias. La duración de su vida útil depende fundamentalmente del adecuado almacenamiento, según lo indicado en las hojas técnicas de cada producto específico:

- Almacenados bajo techo.
- Fuera del contacto con humedad.
- A temperaturas no mayores de 30° C.



**GRÁFICO 188**  
**PRODUCTOS UTILIZADOS PARA EL RESANE Y/O REPARACIÓN**  
**(Izquierda: Mortero de reparación / Derecha: Resinas epóxicas)**  
(Fuente: Propia)

#### 3.2.5.4. Proceso de resane y/o reparación:

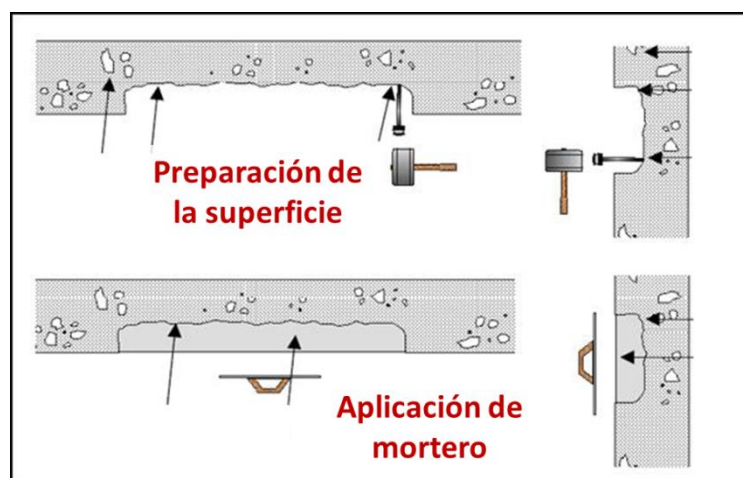
El primer paso obligatorio para el inicio de los resanes y/o reparaciones, es realizar la inspección in situ de la zona afectada, a fin de determinar qué acción correctiva se debe aplicar. Se presentaron los siguientes casos:

##### **ZONAS CON EXCESO O DEFECTO DE VOLUMEN DE CONCRETO EN SU GEOMETRÍA:**

Estas deficiencias aparecen por desviaciones puntuales del encofrado, mal ajuste o uso de paneles deteriorados. El control permite reducir el empleo de encofrados discontinuados y reducir la presencia de esta asimetría del concreto.

- En las zonas con volumen de concreto en exceso, se empieza por eliminar mecánicamente esta irregularidad (uso de taladro con disco de corte y desbaste) hasta recuperar el nivel y diámetro requerido en la estructura.
- En las superficies con defecto de volumen, se pica o rastrilla la superficie para obtener una rugosidad adecuada.
- Se limpia la superficie con agua a presión (1 bar), garantizando que la superficie no quede con restos de partículas sueltas, polvo u otro agente que pudiese afectar la adecuada adhesión de la capa de mortero a aplicar.

- Se aplica el puente de adherencia indicado (Sikadur® 32 Gel), para la unión entre fases de mezcla fresca y endurecida. Este adhesivo, una vez preparado, se aplica de manera uniforme (con brocha) sobre la superficie lista a recibir el mortero, también es posible aplicarlo si la superficie se encuentra húmeda.
- El mortero de reparación (Sika® Abraroc PE) se aplica de forma inmediata, sin superar las 03 horas (a 20°C) o 01 hora (a 30°C) de aplicado el puente de adherencia, en todo caso, este adhesivo debe encontrarse fresco para poder aplicar el mortero indicado.
- El mortero se aplica en capas de espesor no mayor a 2 cm, colocando las capas sucesivas, cuando la primera capa empiece a fraguar al tacto.
- Se nivela el mortero colocado, proporcionándole un acabado adecuado (liso, sin salpicaduras y limpio).
- Este mortero se cura con agua, mínimo por un periodo de 24 horas.



**GRÁFICO 189**

**ESQUEMA DE PREPARACIÓN Y CORRECCIÓN DE SUPERFICIE**

(Fuente: Procedimiento GE-AGM-3P-01010101-MPR-024-R3 – Resane y reparaciones de estructuras de concreto)

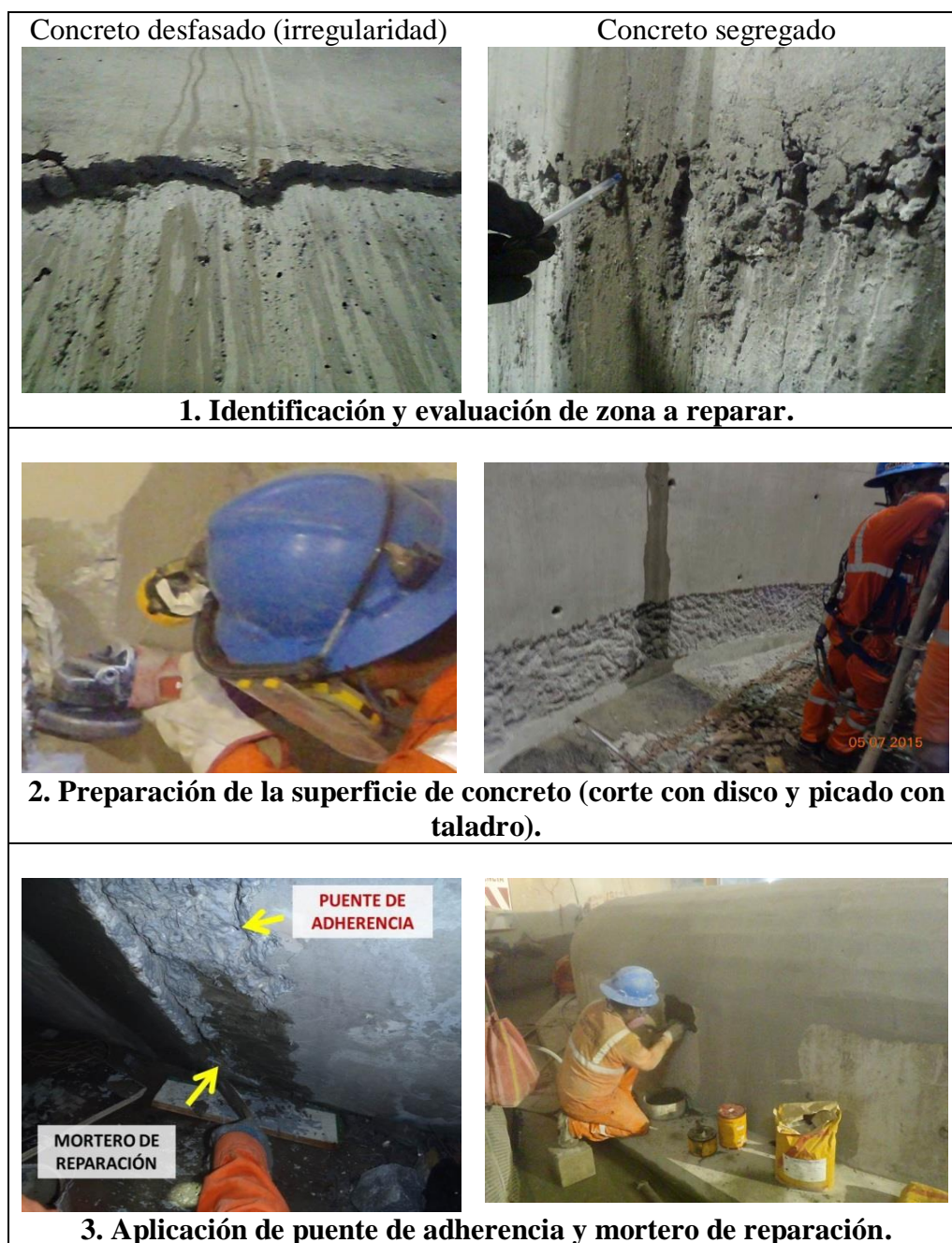
**PRESENCIA DE FISURAS SUPERFICIALES, CANGREJERAS O ZONAS DE SEGREGACIÓN:**

- En las zonas con segregación o cangrejeras, se pica el concreto defectuoso hasta llegar a concreto “sano”, en el caso de llegar a toparse con la armadura de refuerzo, ésta debe ser limpiada de restos de concreto endurecido adherido.
- En el caso las fisuras, se procede a cortar el concreto en la dirección de la fisura encontrada, a una profundidad y ancho mínimo de 10 mm.



- En ambos casos, se limpia la superficie con agua, garantizando que la superficie no quede con restos de partículas sueltas, polvo u otro agente que pudiese afectar la adecuada adhesión de la capa de mortero a aplicar.
- Se procede a aplicar el adhesivo (puente de adherencia) y mortero respectivo como lo ya indicado anteriormente.

Puedo mencionar que, para el caso de las fisuras encontradas en la inspección previa realizada con la participación del Proyectista, se pudo verificar que las mismas correspondían a fisuras superficiales, sin presencia de grietas que pudieran afectar a la estructura. Se concluyó que estas fisuras habían sido selladas durante la etapa de inyección de lechada de cemento.



**GRÁFICO 190**  
**PROCESO DE RESANE O REPARACIÓN**  
(Fuente: Propia)





---

### **PRESENCIA DE BURBUJAS DE AIRE ATRAPADO:**

Estas burbujas aparecen por falta de vibrado adecuado en zonas puntuales del revestimiento.

Para el caso de las burbujas u orificios presentes por el aire atrapado en la mezcla, el tratamiento es el siguiente:

- En general, se retira superficialmente el concreto no consolidado alrededor de la zona identificada.
- Se limpia con agua.
- Se aplicaba directamente el producto indicado en la **Tabla 015** (masilla para reparaciones) sobre los pequeños orificios hasta nivelar la superficie. En este caso, el uso de esta masilla no requiere aplicar algún puente de adherencia, ya que tiene como propiedad la unión adecuada con elementos estructurales como lo es el concreto.



**1. Identificación y evaluación de zona a reparar (presencia de burbujas de aire atrapado)**



**2. Preparación de la superficie (desbaste y limpieza).**



**3. Aplicación de la masilla**

**GRÁFICO 191**

**PROCESO CORRECCIÓN DE SUPERFICIE CON PRESENCIA DE BURBUJAS**

(Fuente: Propia)

## **CAPITULO IV: LECCIONES APRENDIDAS RESCATADAS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO ESPECÍFICO**

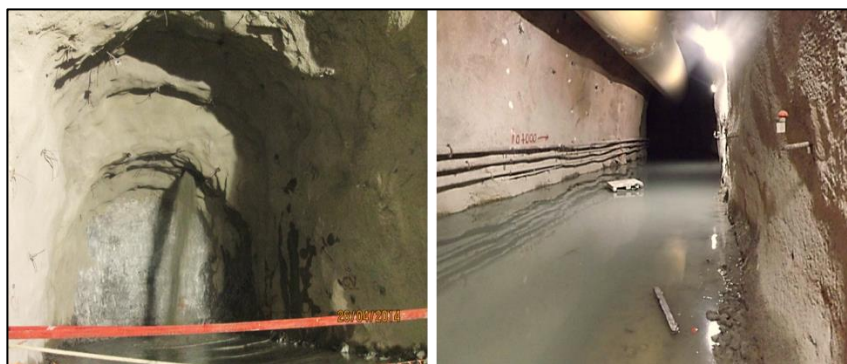
Según las buenas prácticas de gestión de proyectos, los eventos desfavorables presentados en una obra, las causas de los mismos y las acciones correctivas escogidas deben ser documentadas, de tal forma, que sirvan como base de datos histórica, tanto para el proyecto ejecutado como para otros ejecutados en el futuro. Toda esta información, representa la base para la gestión del conocimiento.

En este capítulo se detallan los eventos más destacados, por la implicancia que tuvieron en las distintas fases de la ejecución del Pique de Presión de la central hidroeléctrica.

### **4.1. ETAPA DE EXCAVACIÓN:**

#### **4.1.1. Evento 01: Presencia de agua proveniente de perforación piloto – Raise Borer.**

Al culminar la etapa de perforación del piloto de 12 1/4” de diámetro, se presentó a través de él, una corriente de agua proveniente desde la parte superior.



**GRÁFICO 192**

#### **FLUJO DE AGUA POR LA PERFORACIÓN PILOTO DE Ø 12 1/4”**

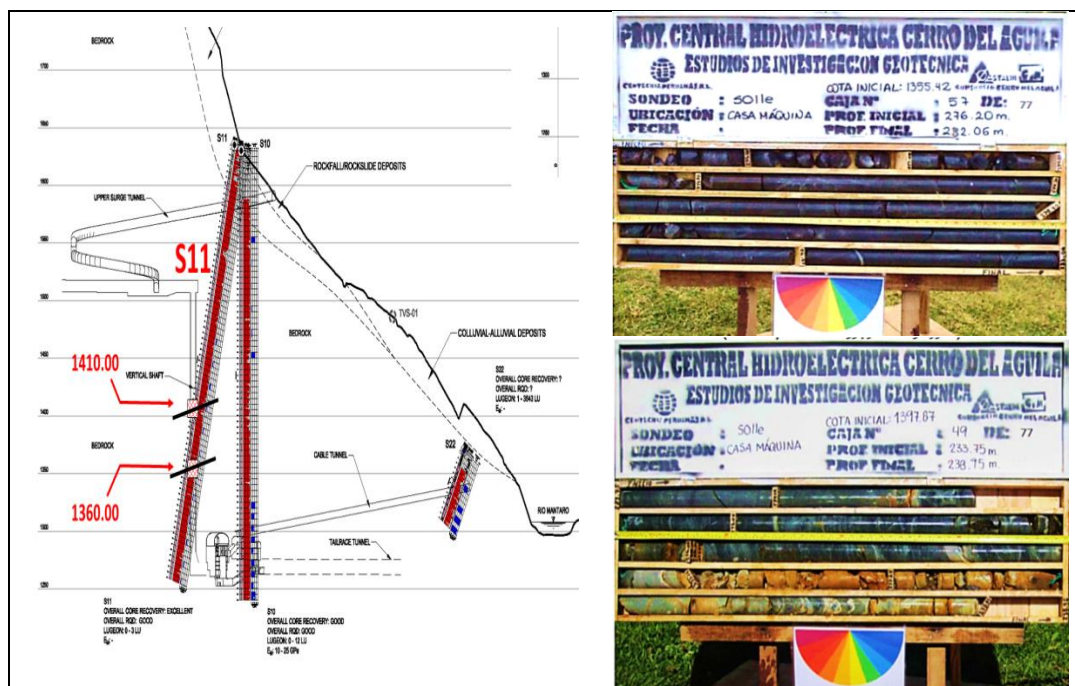
(Fuente: Memo PE-LOM-50-17050101-MEM-001\_R2 – Evaluación preliminar de los aspectos geológicos e hidrológicos)

### **SOLUCIÓN:**

Cabe señalar que gracias al análisis de los datos geológicos obtenidos previamente (a través del sondaje realizado en la etapa de estudio del proyecto – **ver gráfico 193**) y además, gracias a los eventos de pérdida de carga del agua de perforación y a las anomalías en las velocidades y presiones de avance del piloto (Raise Borer), fue corroborada la presencia de dos zonas de roca fracturada y alterada:

- Cota: 1360.00 msnm / Ancho de la falla geológica: 1.50m.
- Cota: 1410.00 msnm / Ancho de la falla geológica: 2.50m.

Este flujo de agua fue causado por la escorrentía subterránea del periodo de lluvias (que en ese momento estaba culminando) y que descargó por las zonas de falla mencionadas.



**GRÁFICO 193**

### **SONDEO S11 – UBICACIÓN DE ZONAS DE FALLA (COTA 1360.00 Y 1410.00)**

(Fuente: Memo PE-LOM-50-17050101-MEM-001\_R2 – Evaluación de los aspectos geológicos e hidrológicos)

Se procedió a registrar estos caudales, obteniendo un rango inicial de 52.0 lts/seg., disminuyendo a 6.2 lts/seg y posteriormente a suprimirse durante poco más de un mes.

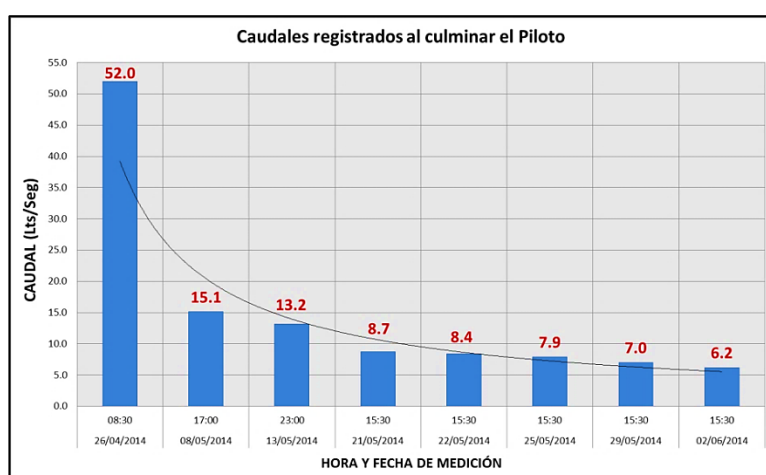
El agua acumulada llegó a formar lagunas dentro de los túneles adyacentes. Esta agua fue evacuada través de uso de bombas de drenaje.

Fecha de medición	Hora	Caudal (lts/seg)
26/04/2014	08:30	52.0
08/05/2014	17:00	15.1
13/05/2014	23:00	13.2
21/05/2014	15:30	8.7
22/05/2014	15:30	8.4
25/05/2014	15:30	7.9
29/05/2014	15:30	7.0
02/06/2014	15:30	6.2

**TABLA 016**

**CAUDAL DE AGUA REGISTRADO LUEGO DE LA PERFORACIÓN DEL PILOTO EN EL PIQUE DE PRESIÓN**

(Fuente: Memo PE-LOM-50-17050101-MEM-001\_R2 – Evaluación de los aspectos geológicos e hidrológicos)



**GRÁFICO 194**

**DISMINUCIÓN EN EL TIEMPO DEL CAUDAL DE AGUA REGISTRADO LUEGO DE LA PERFORACIÓN DEL PILOTO EN EL PIQUE DE PRESIÓN**

(Fuente: Propia)

**4.1.2. Evento 02: Obstrucción del pozo escariado – Excavación por voladura.**

Durante la evacuación del material triturado (a través del pozo escariado) producto de la excavación por voladura, se produjo la obstrucción de este pozo de 3.10 metros de diámetro.

Tras la evaluación de lo ocurrido, se concluyó que el evento se produjo por la falta de evacuación oportuna del material que se iba acumulando en la parte inferior del pozo; este desmonte se consolidó con el shotcrete de rebote producido durante el sostenimiento rutinario.





**GRÁFICO 195**  
**OBSTRUCCIÓN PIQUE – ESCOMBROS EN PARTE BAJA**  
(Fuente: Propia)

### **SOLUCIÓN:**

Se decidió volver a instalar la perforadora Raise Borer para re-perforar con la broca tricono de diámetro 12 1/4” en forma descendente, con el objetivo de verificar la cantidad de material presente (espesor obstruido) y liberar el atasco del pozo.



**GRÁFICO 196**  
**RAISE BORER RE-PERFORANDO EL POZO OBSTRUIDO**  
(Fuente: Propia)

## Resumen de datos del evento:

- Obstrucción de pozo: 14 de Setiembre del 2014.
- Cota donde se produjo la obstrucción: 1490.20 msnm
- Inicio de re-perforación: 22 de Setiembre del 2014.
- Diámetro de re-perforación: 12 1/4”.
- Longitud re-perforada: 102.20 m.
- Fin de re-perforación: 25 de Setiembre del 2014.
- Reinicio de la excavación por voladura: 29 de Setiembre del 2014.

Puedo mencionar que, este evento afectó directamente el costo y plazo establecido, ya que el contrato estipula que hay un costo por concepto de “re-pilotaje”, así como de instalación y desinstalación de máquina. Se resumen en lo siguiente:

PLAZO AFECTADO (Días)	14			
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
Re-Pilotaje (mt)	Mt.	102.20 m.	600.0	61,320
Instalación/Desinstalación	Evento	2	15,000.0	30,000
				\$ 91,320

**TABLA 017**  
**PLAZO Y COSTO GENERADO PARA SOLUCIONAR LA OBSTRUCCIÓN**  
**PRESENTADA**  
(Fuente: Contrato CRM-RAISEBORING)

## 4.2. ETAPA DE SOSTENIMIENTO:

### 4.2.1. Evento 01: Presencia de zonas de fracturas – Sostenimiento reforzado.

Como ya se ha mencionado, este evento se pudo anticipar con las exploraciones geológicas previas, identificando que existían 02 zonas de fracturas importantes que atravesaban el trazo vertical del pique (material no consistente, alterado y desintegrado).

Esta condición, se pudo comprobar en la fase de excavación por voladura (ampliación de diámetro de 3.10 m. a 10.00 m).

- Cota: 1360.00 msnm / Tramo: 1.50m.
- Cota: 1410.00 msnm / Tramo: 2.50m.

## SOLUCIÓN:

Después de la evaluación geológica y geotécnica, el proyectista propuso “reforzar” el **sostenimiento “Tipo C”** en estas zonas de fracturas o falla (mejorando el diseño del refuerzo indicado inicialmente en los planos).

Refuerzo del sostenimiento inicial o proyectado:

	SOSTENIMIENTO PROYECTADO	SOSTENIMIENTO REFORZADO
<b>SHOTCRETE</b>	Capa de 5 cm. con fibra metálica en cantidad de 30 kg/m <sup>3</sup> de mezcla.	02 capas de 10 cm. con fibra metálica en cantidad de 30 kg/m <sup>3</sup> de mezcla.
<b>PERNOS</b>	Pernos de L = 3.80m. y distribución = 2.50x2.50 m.	Pernos de L = 4.50m. y distribución = 2.00x2.00 m.
<b>MALLA ELECTROSOLDADA</b>	N.A.	Malla electrosoldada de 50x50 mm., Ø 4.20 mm., instalada entre capas del shotcrete.
<b>DRENAJES</b>	N.A.	Drenajes de L = 2.00 m., Ø 50 mm. y distribución = 2.00x2.00 m.

**TABLA 018**  
**SOSTENIMIENTO PROYECTADO vs SOSTENIMIENTO REFORZADO**  
**PARA ZONAS DE FALLA**  
(Fuente: Propia)



**GRÁFICO 197**  
**PRESENCIA DE FALLA ATRAVESANDO LA EXCAVACION**  
(Se visualiza roca alterada y fracturada – Cota 1410.00 msnm)  
(Fuente: Propia)

Puedo resaltar en este caso que, la anticipación a través del estudio preliminar de la estructura, permitió sustentar el empleo del refuerzo adicional o mejorado propuesto para la zona de fallas atravesadas. No generando paralizaciones de ninguna índole, ni mayores costos a los proyectados.



### **4.3. ETAPA DE REVESTIMIENTO:**

#### **4.3.1. Evento 01: Interrupción de vaciado.**

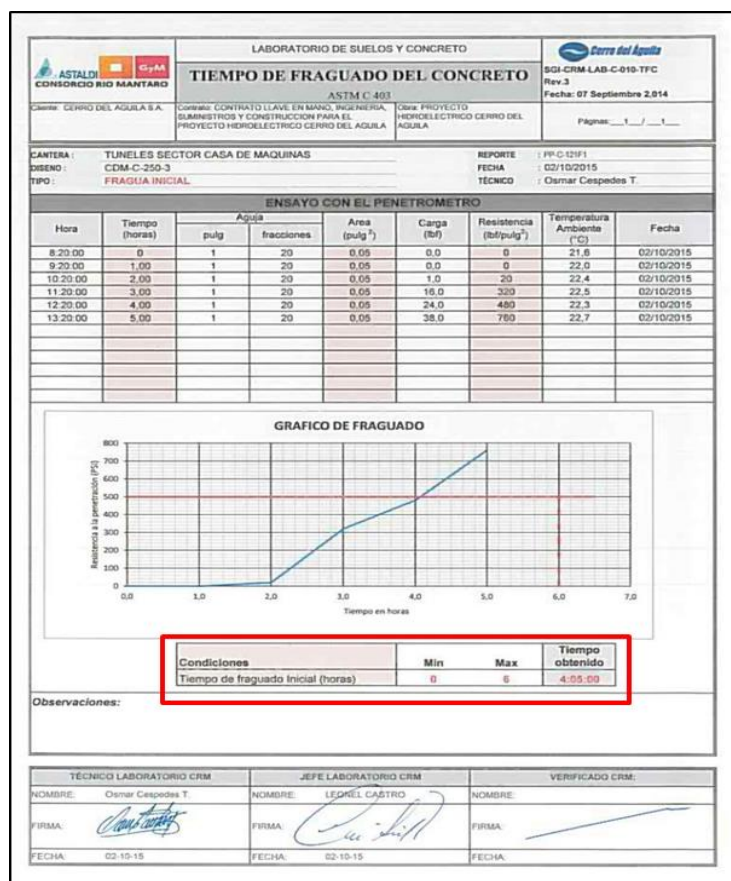
Durante el vaciado de concreto entre las cotas 1372.65 a 1376.65 msnm, se produjo la obstrucción de la mezcla en algunos tramos de la tubería de bombeo, interrumpiendo la labor por más de 05 horas (superando el tiempo de fragua inicial de la mezcla), y generando una junta fría de superficie irregular alrededor del anillo del revestimiento del pique de presión.

Datos del evento:

- Volumen vaciado: 15 m<sup>3</sup>.
- Volumen previsto a vaciar: 134 m<sup>3</sup>.
- Vaciado interrumpido (vaciado desde parte superior): 20 de Agosto del 2015.
- Reinicio de vaciado después del tratamiento de junta fría: 26 de Agosto del 2015.

Según ensayo ejecutado para el tiempo de fraguado inicial del concreto empleado, se conoció que este se daba a las 4 horas de elaborada la mezcla (se alcanzó una resistencia a la penetración de 500 psi o 3.50 MPa, según lo indicado en la norma ASTM C 403):





**GRÁFICO 198**  
**ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA INICIAL PARA LA MEZCLA EMPLEADA EN EL REVESTIMIENTO**  
(Fuente: Laboratorio Obra CH Cerro del Águila)

Después de la inspección realizada in situ, se pudo verificar la presencia de zonas que no se culminaron de vibrar (concreto poroso, no consolidado), y acero de refuerzo cubierto por concreto endurecido.



**GRÁFICO 199**  
**INSPECCIÓN DE LA JUNTA FRÍA FORMADA**  
(Fuente: Propia)



Se llegó a la conclusión, que el evento ocurrió a causa de la falta de suficientes transiciones o quiebres en la línea de bombeo, esto causó que la mayor parte de la trayectoria de la mezcla fuera vertical, y cuando llegaba a estos quiebres ésta se segregara, obstruyendo el conducto.



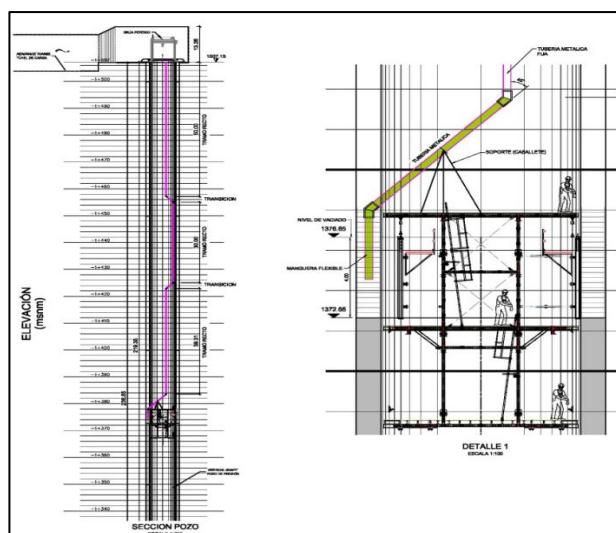
**GRÁFICO 200**  
**INSPECCIÓN DE LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN**  
(Fuente: Propia)

### SOLUCIÓN:

La solución se centró en dos objetivos:

#### - MEJORAR EL RECORRIDO DE LA TUBERÍA QUE CONDUCE LA MEZCLA:

Añadiendo más quiebres que minimicen el tramo recto vertical del conducto, y evite la segregación de la mezcla.



**GRÁFICO 201**  
**ESQUEMA PROPUESTO PARA RECORRIDO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE LA MEZCLA**  
(Fuente: Plano CRO-0AAA-CDM – Sistema de vaciado de concreto)

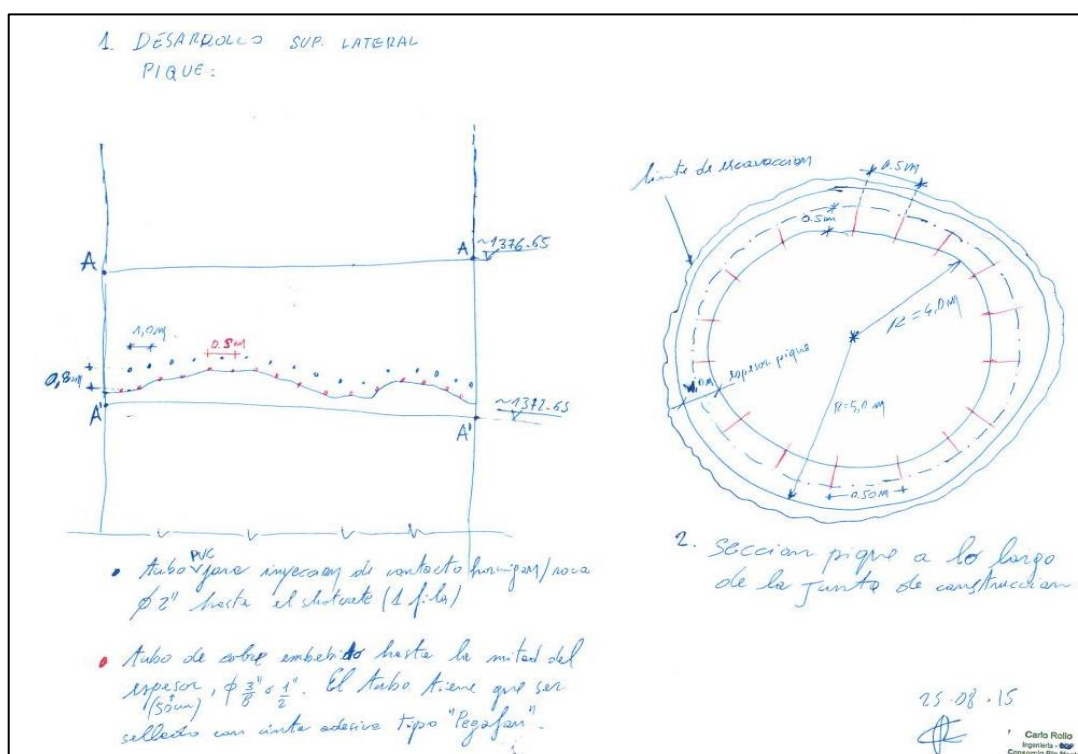
**- REALIZAR EL TRATAMIENTO DE LA JUNTA FRÍA FORMADA:**

Se ejecutó el picado del concreto endurecido no consolidado, la limpieza de las barras de acero de refuerzo, el escarificado de la superficie de concreto obtenida después del picado, la limpieza con agua y aire a presión, y la instalación de banda hidroexpansiva “SikaSwell® A” a lo largo de la superficie del anillo de concreto irregular.

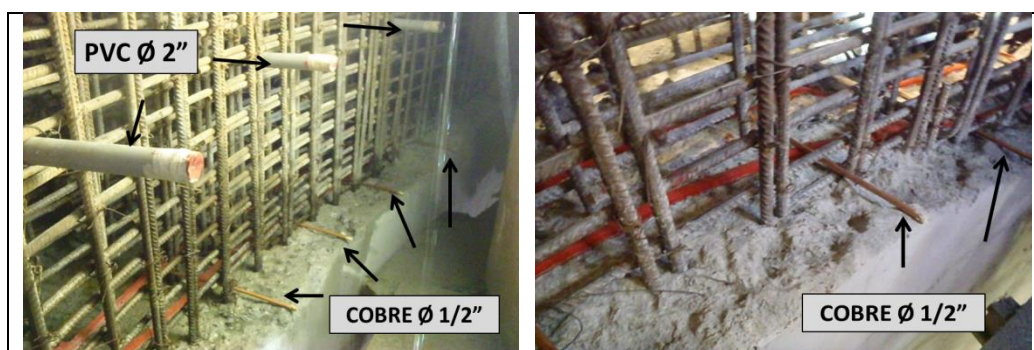


**GRÁFICO 202**  
**TRATAMIENTO DE LA JUNTA FRÍA**  
(Fuente: Propia)

Adicional al tratamiento de la junta fría, se dispuso la realización posterior de inyecciones de lechada de cemento. Para esto, se dejaron pasantes con tubos de pvc de 2" y de cobre de 1/2", para inyecciones de contacto e inyecciones de consolidación de la propia junta fría, respectivamente.



**GRÁFICO 203**  
**ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LOS PASANTES PARA POSTERIOR**  
**INYECCIÓN DE LA JUNTA FRÍA**  
(Fuente: Croquis obra)



**GRÁFICO 204**  
**PASANTES DEJADOS PARA INYECCIONES UBICADOS SEGÚN**  
**ESQUEMA – PVC Y COBRE**  
(Fuente: Propia)

Puedo comentar que, la no previsión de eventos perjudiciales, la falta de supervisión o simplemente descuido y desinterés por parte del ejecutor, causa siempre más trabajo que emplear un tiempo prudente para planificar en conjunto las labores nuevas a realizar. Ya está demostrado que, la falta de análisis previo a la



ejecución (anticipación a los posibles problemas) siempre será más perjudicial que beneficiosa.

#### 4.3.2. Evento 02: Ajuste del revestimiento de concreto armado en el tramo de sostenimiento con cimbras.

En la etapa de sostenimiento del pique, entre las cotas 1499.00 hasta la 1507.15 msnm (sostenimiento tipo “D”), se instalaron cimbras metálicas de radio 4.85 m. en lugar de 5.00 m.

#### SOLUCIÓN:

Para no afectar el diámetro interno definitivo del pique de presión, se tuvo que reducir el espesor del revestimiento de concreto en 15 cm., y por ende, realizar una adecuación o variante a la disposición del acero de refuerzo vertical del anillo 4 (a través de un quiebre de esta armadura). Después de la evaluación técnica de las partes involucradas, fue doblado, ya embebido en el concreto; además se dispuso reforzarlo, colocando unos ganchos adicionales a lo largo de la altura de traslape vertical (1.50 m).

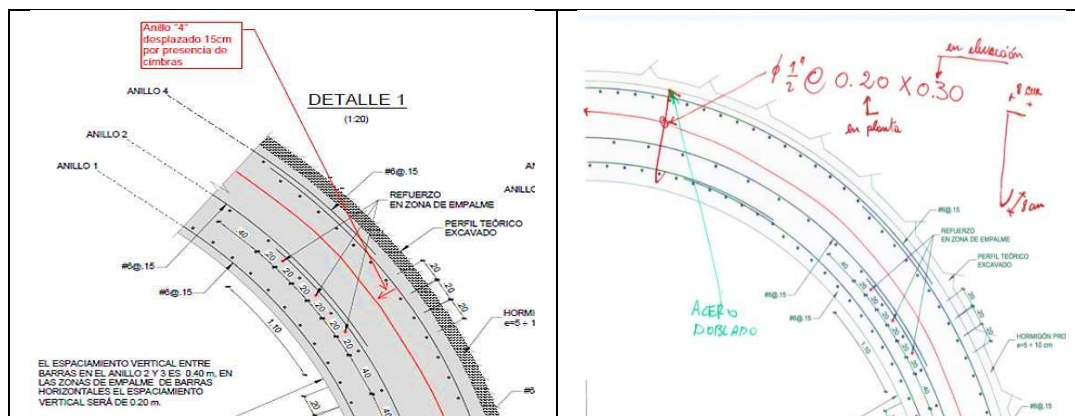


GRÁFICO 205

#### DETALLE DE LA DISPOSICIÓN DEL ACERO VERTICAL DEL ANILLO 04

(Fuente: Ficha técnica 044 – adecuación acero vertical)



**GRÁFICO 206**  
**ACERO DE REFUERZO DOBLADO Y REFORZADO PARA EL TRAMO**  
**INDICADO**  
(Fuente: Propia)



## CAPITULO V: RESULTADOS RESUMIDOS DE CONTROL DE CALIDAD

### 5.1. ESTATUS DE OBSERVACIONES Y REPORTE DE NO CONFORMIDAD:

Empezaré definiendo estos dos conceptos:

**OBSERVACIÓN:** Es una acción preventiva realizada para asegurar obtener un adecuado producto final. Esta alerta temprana se origina al detectarse una desviación en el proceso y que puede subsanarse durante el desarrollo del mismo.

**NO CONFORMIDAD:** Incumplimiento de los requisitos mínimos descritos para un procedimiento o producto. La No Conformidad se presenta posterior a la finalización de una actividad o proceso.

A continuación se presenta un cuadro comparativo de estos dos conceptos:

<u>OBSERVACIÓN</u>	<u>NO CONFORMIDAD</u>
<ul style="list-style-type: none"><li>• No necesariamente involucra re-procesos.</li><li>• No se ha dado ningún tipo de “liberación”.</li><li>• El sub-proceso de conformación no necesariamente ha concluido, y pueden hacerse las correcciones sin afectar el resto de entregables.</li><li>• Del tipo: Advertencia, Obligatoriedad, Prohibición, Información, Corrección.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Involucra re-procesos para el cierre íntegro de la No Conformidad.</li><li>• Existe una “liberación” de por medio.</li><li>• El sub-proceso de conformación ha concluido.</li><li>• Las reparaciones son “invasivas”.</li><li>• Del Tipo: Corrección.</li></ul>

**TABLA 019**  
**CUADRO COMPARATIVO “OBSERVACIÓN vs NO CONFORMIDAD”**  
(Fuente: Propia)

Comúnmente en las obras de construcción, el número de acciones correctivas es mayor en comparación a las acciones preventivas. Así mismo, las observaciones y no conformidades emitidas por la supervisión de la obra, casi siempre se presentan en mayor cantidad. Estas malas prácticas, viene siendo controladas y mitigadas poco a poco, gracias a las estrategias de gestión adoptadas por las empresas constructoras.

Puedo rescatar que, en el caso de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila, la mayor cantidad de acciones preventivas, fueron realizadas internamente (por parte del personal de la constructora), lo que se reflejó en buenos avances y cumplimientos de plazos, así como en la reducción de No Conformidades potenciales. Todo esto debido a una estricta política de calidad, innata de las empresas constituyentes del consorcio.

**“A mayor Prevención, menor cantidad de No Conformidades”**

El desempeño de la Calidad en la obra es medido a través del siguiente concepto:

**PALANCA DE CALIDAD:** Es un indicador que permite conocer el desempeño en Calidad dentro del proyecto. Es la relación entre el número de **Reportes de Observación (ROB)** y el número de **Reportes de No Conformidad (RNC)**.

Para comparar el desempeño en Calidad en la obra, y en función de la estadística que manejó una de las empresas del consorcio, se estableció el siguiente valor comparativo para la relación indicada:

$$\frac{\#ROB}{\#RNC} \geq 10$$

GRÁFICO 207

### ÍNDICE ESTABLECIDO PARA MEDIR EL DESEMPEÑO EN CALIDAD DEL PROYECTO

Este índice se puede medir para todo el proyecto, pero también para áreas específicas y **por estructuras**, como es el caso del Pique de presión.

A continuación se presentan los gráficos que resumen la cantidad y tipo de reportes obtenidos **para la estructura del Pique de Presión**: La cantidad de Reportes de Observación vs Reportes de No Conformidad (imagen izquierda), y la cantidad de Reportes de No Conformidad Internos vs Reportes de No Conformidad Externos (imagen derecha).

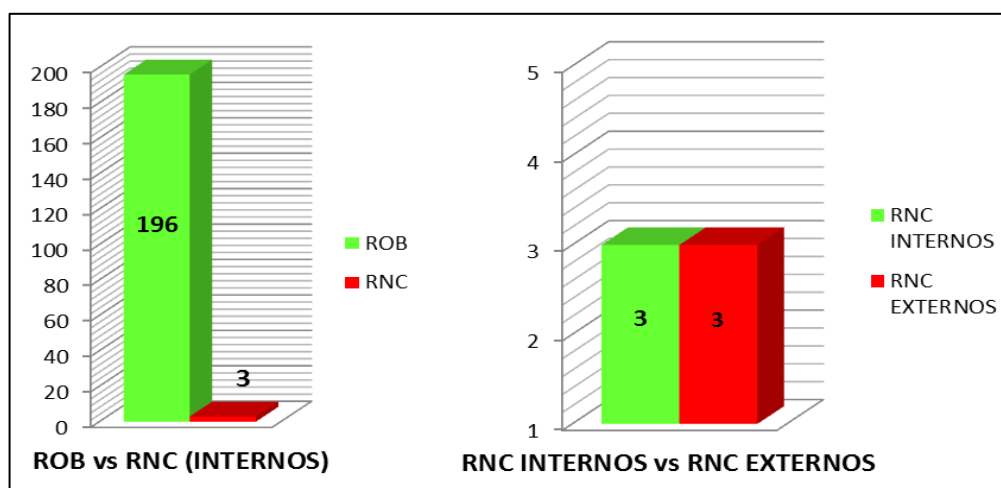


GRÁFICO 208

### GRÁFICOS OBTENIDOS DE LA EMISIÓN DE REPORTES DE OBSERVACIÓN (ROB) Y NO CONFORMIDAD (RNC) EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PIQUE DE PRESIÓN

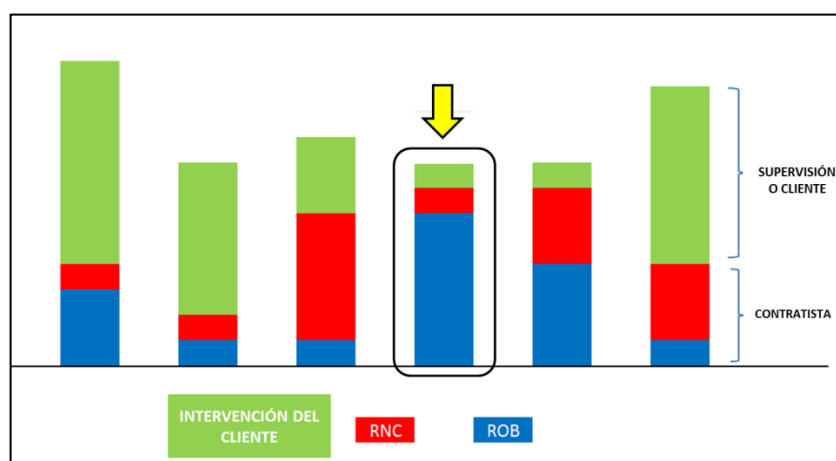
(Fuente: Propia)

Para el caso del gráfico “**ROB vs RNC (INTERNOS)**”, este refleja lo que se busca obtener a través del indicador de la Palanca de Calidad, tener la mayor cantidad de Observaciones que pueden subsanarse durante los procesos y que den como resultado una mitigación de las posibles No Conformidades tanto internas como externas. **El valor del desempeño del Control de Calidad o Palanca de Calidad** en la estructura es de **65.33**, valor superior al mínimo establecido (**mínimo valor = 10 / ver gráfico 207**).

Para el caso del gráfico “**RNC INTERNOS vs RNC EXTERNOS**”, se verifica que existe la misma cantidad de RNC para cada caso (03), esto se debe a que los eventos No Conformes suscitados fueron críticos, y por ende el cliente también los identificó y reportó.

Finalmente, lo que se busca con el reporte y control de estas desviaciones a los procesos, es mejorar continuamente, ya que no se podría obtener ninguna mejora como organización sin tener un control o medición de los eventos presentados.

En el siguiente gráfico se puede visualizar los distintos panoramas que pueden presentarse en un proyecto en función de su desempeño en calidad:



**GRÁFICO 209**  
**DISTINTOS PANORAMAS DEL DESEMPEÑO EN CALIDAD DE UN PROYECTO**  
(Fuente: Propia)

La columna señalada dentro del gráfico, representa el comportamiento requerido respecto al control de calidad dentro de un proyecto, ya que contiene alta prevención (Reporte de Observación: ROB), poco reproceso interno (Reporte de No Conformidad: RNC) y menor no conformidad externa (intervención por parte del cliente).

## 5.2. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO ENDURECIDO:

Dentro de las distintas muestras tomadas para el **control de la resistencia del concreto**, éste se presenta como un material variable respecto a sus propiedades físicas y mecánicas, debido a diversos factores que pueden ser tanto de origen natural como operacional; esta variabilidad se ve reflejada en los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a compresión. A partir de esto, nace la necesidad de implementar mecanismos o herramientas de control que permitan identificar, evaluar y disminuir estas variantes.

**En este capítulo se realiza la evaluación de los dos puntos siguientes:**

- Ensayos de resistencia a compresión, a 28 días, de los testigos del concreto empleado como parte del revestimiento armado del Pique de Presión. Este punto incluye una evaluación estadística, a través de gráficas de control, de todas las muestras de concreto ensayado.
- Calidad del control en los ensayos.

### 5.2.1. Procesamiento de datos:

#### 5.2.1.1. Evaluación estadística de los ensayos de resistencia a compresión (Pruebas generales de construcción o Condiciones de fabricación del concreto):

En esta evaluación, un ensayo o muestra se define como el promedio de la resistencia de al menos 02 cilindros, a la edad de 28 días.

Y se acepta como exitoso un ensayo de resistencia a la compresión cuando, según **norma ACI 318** para concretos con  **$f'_c$  menor o igual a 35 MPa o 357 kg/cm<sup>2</sup>**:

- **Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior al  $f'_c$  especificado.**
- **Ningún resultado individual del ensayo de resistencia (promedio de dos cilindros) resulte menor que  $f'_c$  por más de 3.50 MPa.**

Ahora, según lo indicado en la **norma ACI 214R**, los resultados de los ensayos a compresión, se agrupan alrededor de un valor promedio, es decir, se ajustan a una función de distribución de probabilidades de tipo normal o de Gauss. Los parámetros estadísticos característicos para resultados de resistencia de concreto a compresión vienen a ser las variables: Valor Medio ( $\bar{X}$ ) y Desviación Estándar (S).

**RESISTENCIA MEDIA ( $\bar{X}$ ):** Nos indica la tendencia central de todos los valores obtenidos, en otras palabras, el valor promedio de todos los valores analizados.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

**GRÁFICO 210**  
**ECUACIÓN RESISTENCIA MEDIA**

Dónde: <sup>1</sup>

- $\bar{X}$ : Valor de la resistencia media de todas las muestras.
- $X_i$ : Valor de la resistencia de una muestra (promedio de dos probetas).
- $\sum X_i$ : Sumatoria de los valores de resistencia de muestreo a cierta fecha y para determinada parte de vaciado.
- $n$ : cantidad de muestras.

**DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S):** Es una medida de la dispersión de los resultados tras el ensayo a compresión del concreto, si es pequeña nos permite concluir que tan homogéneos son los resultados. Esta dispersión se calcula respecto al valor de la resistencia media obtenida.<sup>2</sup>

En la práctica la desviación estándar es un valor que está vinculado directamente a cada obra (materiales, producción y control), pero los estándares norman su magnitud admisible. Es así que, la desviación estándar (en kg/cm<sup>2</sup> o MPa), nos permite conocer el grado de control o calidad del concreto elaborado en obra. La calificación establecida por la **norma ACI 214R, para valores de  $F'_c < 34.50$  MPa (~ 352 kg/cm<sup>2</sup>)**, es la siguiente:

<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)</b> <b>[kg/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>GRADO DE CONTROL</b>
< 28	Excelente
28 – 34	Muy bueno
34 – 41	Bueno
41 – 48	Regular
> 48	Pobre

**TABLA 020**  
**GRADO DE CONTROL O CALIDAD DEL CONCRETO EN FUNCIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR**  
(Fuente: Norma ACI 214R)

<sup>1</sup>. “Control de Calidad en el hormigón”, INECYC, (2009).

<sup>2</sup>. “Control estadístico del hormigón mediante cartas de control y Sistema CUSUM”, Departamento de Tecnología del Hormigón Instituto del Cemento Portland Argentino, (2015).

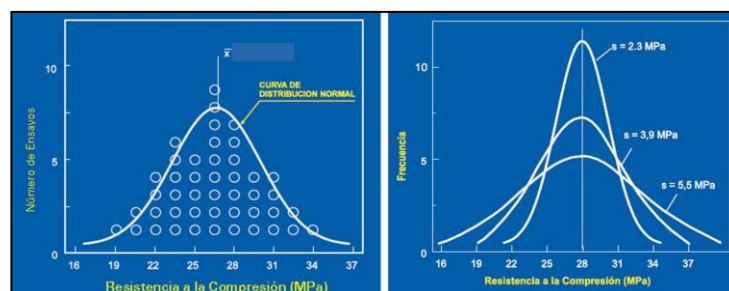


$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

**GRÁFICO 211**  
**ECUACIÓN DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)**

Dónde: <sup>3</sup>

- S: Valor de la desviación estándar de todos los resultados.
- Xi: Valor de la resistencia de una muestra (promedio de dos probetas).
- $\bar{X}$ : Valor de la resistencia media de todas las muestras.
- n: cantidad de muestras.



**GRÁFICO 212**  
**EJEMPLO DE GRÁFICAS DE FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES DE GAUSS Y DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR**  
(Fuente: “Control de Calidad en el hormigón” – INECYC – [www.inecyc.org.ec](http://www.inecyc.org.ec))

#### 5.2.1.2. Evaluación estadística de la Calidad del Control de los ensayos (Pruebas de control de campo):

En esta evaluación, se verifica el desempeño obtenido en el control de los ensayos de las muestras de concreto, se cuantifica la dispersión presente entre probetas compañeras que pertenecen a una misma muestra (error de ensayo).

**Según lo indicado en la norma ACI 214R** y cuando el número de datos es inferior a 30 (mínima cantidad de datos para una evaluación estadística válida), se deben determinar los siguientes valores para poder realizar la evaluación de la Calidad del Control:

**RANGO (R):** Diferencia entre el valor de la resistencia mayor y menor de las probetas compañeras dentro de una muestra.

<sup>3</sup>. “Control de Calidad en el hormigón”, INECYC, (2009).

$$Rm = \frac{\sum Ri}{n}$$

**GRÁFICO 213**  
**ECUACIÓN RANGO**

Dónde:

- Rm: Rango promedio del conjunto de muestras.
- Ri: Rango individual, obtenido de la diferencia de los valores mayor y menor en una muestra.
- n: Número de muestras. Debe ser mayor a 10 para un vaciado de determinada parte.

**DESVIACIÓN ESTÁNDAR ENTRE PROBETAS COMPAÑERAS (S<sub>1</sub>):**  
Dispersión de los ensayos entre probetas compañeras.

$$S_1 = \frac{1}{d_2} \cdot Rm$$

**GRÁFICO 214**  
**ECUACIÓN DESVIACIÓN ESTÁNDAR S<sub>1</sub>**

Dónde:

- S<sub>1</sub>: Desviación estándar entre probetas compañeras.
- Rm: Rango promedio del conjunto de muestras.
- d<sub>2</sub>: Valor que depende del número de probetas compañeras que forman parte de una muestra.

<b>TABLA 4.1. de norma ACI 214R</b>	
Número de probetas compañeras	Valor "d2"
2	1.128
3	1.693
4	2.059

**TABLA 021**  
**VALOR "d<sub>2</sub>" EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE PROBETAS COMPAÑERAS**

(Fuente: Norma ACI 214R)

**COEFICIENTE DE VARIACIÓN DENTRO DEL LOTE (V<sub>1</sub>):** Valor utilizado para evaluar el grado de control o desempeño de la calidad del control en los ensayos.

$$V_1 = \frac{S_1}{\bar{X}} \cdot 100$$

**GRÁFICO 215**  
**ECUACIÓN COEFICIENTE DE VARIACIÓN  $V_1$**

Dónde:

- $V_1$ : Coeficiente de variación entre probetas compañeras que forman parte de una muestra (en %).
- $S_1$ : Valor de la desviación estándar.
- $\bar{X}$ : Valor de la resistencia media de todas las muestras.

Es así que, este coeficiente de variación nos permite evaluar la diferencia entre los resultados de los ensayos de resistencia a compresión de las probetas obtenidas. La calificación establecida por la norma ACI 214R **para valores de  $F'_c < a 34.50$  MPa** ( $< \sim 352$  kg/cm<sup>2</sup>: nuestro caso para el  $f'_c$  del diseño empleado en obra) es la siguiente:

COEFICIENTE DE VARIACIÓN DENTRO DEL LOTE ( $V_1$ ) [%]	CALIDAD DE CONTROL
$< 3$	Excelente
3 – 4	Muy bueno
4 – 5	Bueno
5 – 6	Regular
$> 6$	Pobre

**TABLA 022**  
**CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE CONTROL EN FUNCIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN  $V_1$**   
(Fuente: Norma ACI 214R)

### 5.2.2. Resultados:

**Los resultados obtenidos en la evaluación estadística realizada a los ensayos de compresión de las muestras de concreto (resistencias), se encuentran incluidos en el Anexo 06 de esta tesis.**

### 5.2.3. Interpretación de resultados:

Ejecutada la evaluación estadística de la calidad del concreto empleado en obra y del desempeño de la calidad del control se obtuvieron los siguientes resultados **(para mayor detalle de la obtención de estos resultados, ver Anexo 06 de esta tesis):**

- Para las condiciones de fabricación del concreto empleado en obra para el revestimiento de concreto armado del pique de presión, se obtuvo **una resistencia media igual a 394.72 kg/cm<sup>2</sup>** (resultados de resistencia a la compresión mayores al f'c de diseño: 250 kg/cm<sup>2</sup>), además de obtener una **desviación estándar igual a 32.12 kg/cm<sup>2</sup>**, para este último valor la norma **ACI 214** indica que las condiciones de fabricación del concreto son **MUY BUENAS** (ver Tabla 020).

Número de ensayos (n) =		113	
Promedio de valores Xi en N ensayos ( $\bar{X}$ ) =		394.72	kg/cm <sup>2</sup>
Sumatoria de $(X_i - \bar{X})^2$ =		115580.02	
<b>Desviación Estándar General (S) =</b>		<b>32.12</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Según norma ACI 214 =</b>			
Pruebas generales de construcción o Condiciones de fabricación del concreto:		<b>MUY BUENAS</b>	

#### GRÁFICO 216

#### RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO ENDURECIDO ENSAYADAS

(Fuente: Propia)

- Para el grado de control de los ensayos del concreto empleado y según lo indicado por la norma **ACI 214**, se obtuvo un valor del **coeficiente de variación dentro del lote igual a 1.00 %**, considerado un desempeño **EXCELENTE** (ver Tabla 021 y 022).

Número de muestras (n) =		113	
Sumatoria de Rangos de cada muestra ( $\sum R_i$ ) =		253.54	kg/cm <sup>2</sup>
Rango promedio del conjunto de muestras ( $R_m$ ) =		2.24	kg/cm <sup>2</sup>
Valor "d2" =		1.128	
Desviación Estándar entre probetas compañeras ( $S_1$ ) =		1.99	kg/cm <sup>2</sup>
Promedio de valores Xi en N ensayos ( $\bar{X}$ ) =		394.72	kg/cm <sup>2</sup>
<b>Coeficiente de Variación dentro del lote (V1) =</b>		<b>1.00</b>	<b>%</b>
<b>Según norma ACI 214 =</b>			
Pruebas de control de campo:		<b>EXCELENTE</b>	

#### GRÁFICO 217

#### RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO ENDURECIDO ENSAYADAS

(Fuente: Propia)

- En los **gráficos de control de la resistencia final del concreto vs fechas de ensayo** (ver gráficos 218 al 220), se verifica que las resistencias obtenidas de las muestras tomadas en obra superan la resistencia mínima especificada con un **cumplimiento del 100%** de los requisitos de la norma **ACI 318 – Apartado 5.6.3.3**.



**CUMPLIMIENTO REQUISITOS DE RESISTENCIA - ACI 318 / Apartado 5.6.3.3.**

Se puede observar en los gráficos de control de la resistencia del concreto a través del tiempo que, todas las resistencias obtenidas de las muestras tomadas en obra superan la resistencia mínima especificada.

Además de cumplir:

**- Requisito 1:**

*\* Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior al  $f'_c$  especificado.*

PUNTOS = 224 CUMPLIMIENTO = 100 %

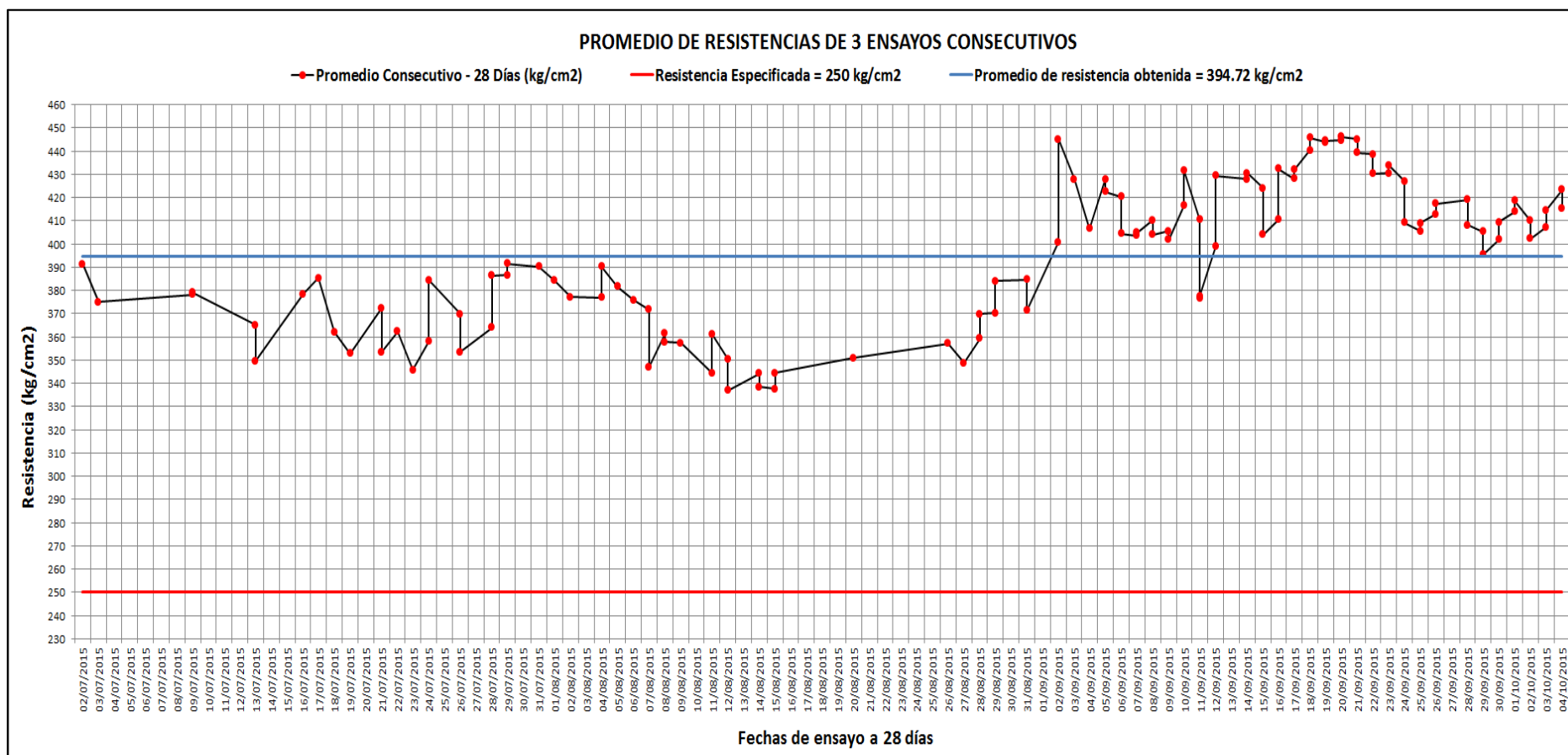
**- Requisito 2:**

*\*\* Cuando  $f'_c$  es menor o igual a 35 MPa: Ningún resultado individual del ensayo de resistencia (promedio de dos cilindros) resulte menor que  $f'_c$  por más de 3.50 Mpa.*

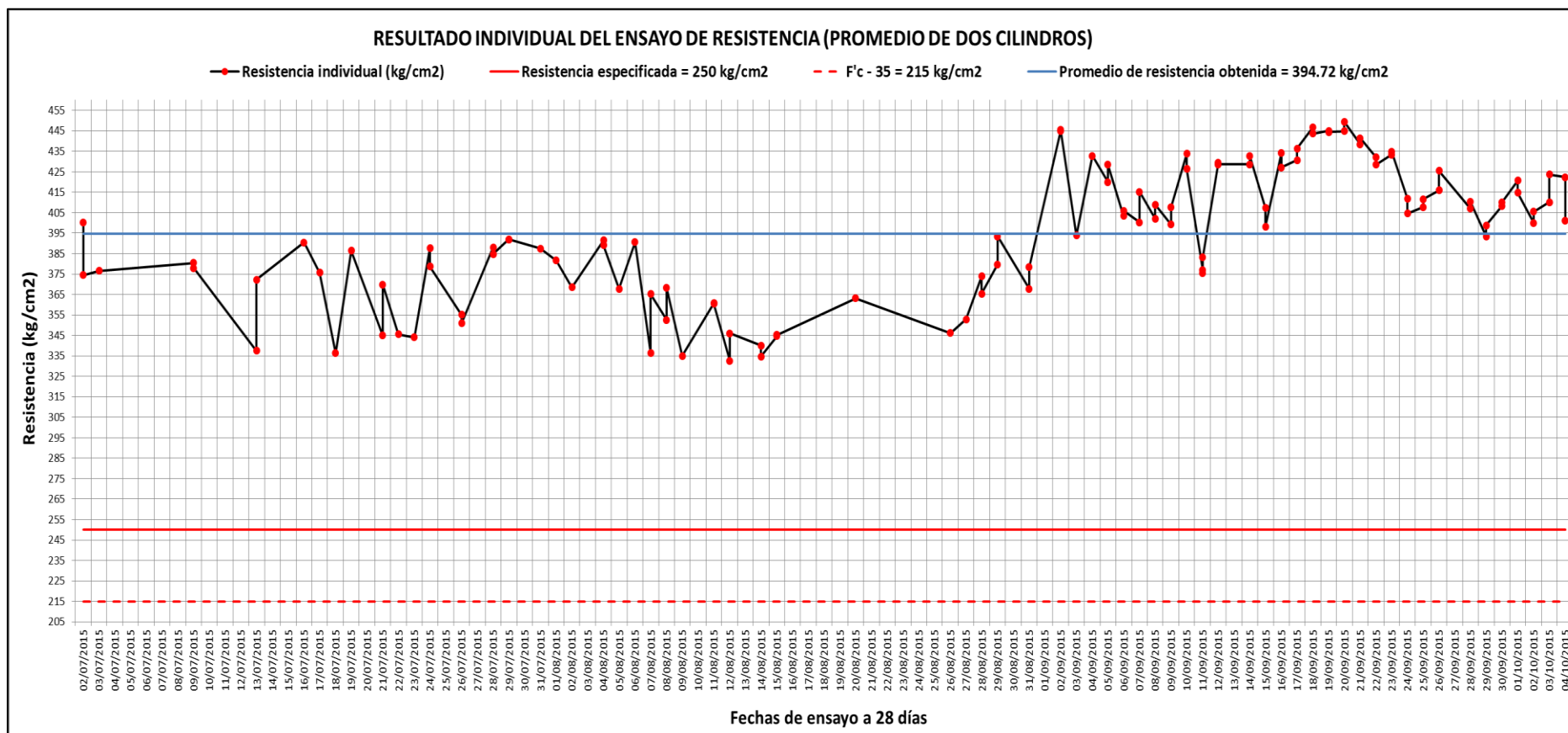
PUNTOS = 113 CUMPLIMIENTO = 100 %

**GRÁFICO 218**  
**CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DE RESISTENCIA – NORMA ACI 318**  
(Fuente: Propia)





**GRÁFICO 219**  
**PROMEDIO DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN – 03 ENSAYOS CONSECUTIVOS (SEGÚN NORMA ACI 318)**  
 (Fuente: Propia)



**GRÁFICO 220**  
**PROMEDIO DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN – RESISTENCIA INDIVIDUAL (SEGÚN NORMA ACI 318)**  
(Fuente: Propia)

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las siguientes **conclusiones y recomendaciones finales** obtenidas de la elaboración y análisis de esta tesis, son de carácter orientativo, ya que son específicas respecto a las tecnologías y materiales empleados dentro de la construcción de la obra “Pique de Presión” en la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila 525 MW.

### 6.1. CONCLUSIONES:

- El contenido de esta Tesis, aporta información sobre los conceptos del control de calidad en el rubro de la construcción. Además de conocer los distintos Planes de control de Calidad específicos aplicados en la construcción del Pique de Presión en la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila. Dentro del contenido de esta Tesis, se describe y analiza, como parte del conocimiento adquirido, los inconvenientes presentados en los distintos procesos específicos de las etapas de construcción del Pique de Presión. Esta información puede llegar a ser útil como guía en futuros proyectos semejantes.
- El seguimiento y control estricto e imparcial de las distintas fases de producción en obra, permitieron obtener impactos positivos, acorde a lo esperado, esto está reflejado en los **resultados obtenidos** en el **Capítulo V** de esta Tesis, en el cual se realizó una **Evaluación de las Observaciones y Reportes de No Conformidad (ver páginas 201 a 203)**, así como la **Evaluación Estadística de los resultados de ensayos a compresión después de 28 días de concreto endurecido**:
  - Para la **Evaluación de las Observaciones y Reportes de No Conformidad**, se pudo obtener el índice de desempeño del Control de Calidad mayor a lo estipulado (**ver página 202 / Gráfico 207 y 208**). Esto debido a que primaron las acciones preventivas (observaciones), sumándole a esto que la mayor cantidad de estas acciones, fueron realizadas internamente (por parte del personal de la constructora), lo que se reflejó en cumplimientos de avances y plazos, y en la reducción de penalidades, así como la disminución y control de No Conformidades potenciales. Este logro fue posible gracias a una estricta política de calidad (implementación, aseguramiento y control), innata de las empresas constituyentes del consorcio.

Lo que se busca con el reporte y control de estas desviaciones a los procesos en el proyecto, es mejorar continuamente, ya que no se podría conseguir

ninguna mejora como organización sin tener un control o medición de los eventos ocurridos.

- Para el caso de la **Evaluación Estadística del Concreto elaborado**, se pudieron obtener gráficas de la resistencia del concreto colocado y sus fechas de ensayo, en la que se demuestra que los resultados alcanzados superaron las expectativas o referencias indicadas en el diseño de la estructura ( $F'c$  especificado = 250 kg/cm<sup>2</sup>) y en la norma ACI 318 (**ver gráficos 218 al 220**).

Esta misma Evaluación Estadística, permitió conocer la desviación estándar del concreto fabricado en la Planta Industrial presente en obra (valor conforme según lo indicado en la norma ACI 214R); además de permitir conocer el Grado de Control de los Ensayos, valor conforme según lo indicado en la norma ACI 214R (**ver Anexo 06 para mayor detalle de los valores obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión y de la evaluación realizada**).

- Queda claro que para una empresa constructora, el poder crear, mantener e impartir una cultura de la Calidad en la construcción, genera definitivamente un impacto positivo a todo nivel.
- El demostrar la hipótesis y alcanzar los objetivos de esta Tesis, fueron posibles, al aplicar estándares vigentes (especificaciones técnicas), normas técnicas rigurosas (normas ACI, ASTM, EFNARC, NTP), procedimientos adecuados, y sobre todo al planificar y ejecutar con rigor la tarea del aseguramiento y control de calidad dentro del proyecto.
- Por último, resumo algunos de los costos más relevantes asociados a la construcción del pique, estos valores pueden servir de base para conocimiento de futuros proyectos con tecnología similar:

COSTOS				
DESCRIPCIÓN	UND.	CANT. TOTAL	P.U. (USD)	SUB TOTAL (USD)
<b>EXCAVACIÓN</b>				<b>13,537.54</b>
Perforación piloto 12 ¼" Ø	ml.	238.65	800.00	
Escariado 3.10m.	ml.	238.65	1,050.00	
Ensanche 3.10 a 10m	ml.	238.65	11,687.54	
<b>ENCOFRADO</b> (Afectado por un 15% de deterioro)	ml.	238.65	5,759.50	<b>6,623.43</b>
<b>CONCRETO ARMADO</b>				
Acero, concreto, mano de obra.	ml.	238.65	3,101.27	<b>3,101.27</b>
SUB TOTAL x ML (USD)				23,262.24
<b>TOTAL (USD)</b>				<b>5'551,533.58</b>

## 6.2.RECOMENDACIONES:

- Según lo que he podido detectar, es que en la gran mayoría de casos, las empresas constructoras de nuestra región, carecen, no le toman importancia o su sistema de gestión de la calidad no está consolidado como debería. Dentro de ellas, se ve como un gasto innecesario o en otros casos como una idea difícil de implantar en la gente. Para que Piura y sus empresas locales surjan, no se debe prescindir del sistema de gestión de calidad, pues la inversión es poca y los beneficios son muchos; como lograr una mejor imagen, un respeto y consolidarse como empresas constructoras.
- El equipo empleado en obra para la aplicación del shotcrete dentro de un pique vertical, debe ser el más idóneo en su relación costo-beneficio (tecnología acorde a lo que se requiere en obra), ya que en buena parte el éxito de la operación depende de esta maquinaria. El controlar manualmente la manguera de proyección dentro de un espacio reducido e inestable puede llegar a convertirse en una tarea tediosa y peligrosa, se debe dar pie a optimizar estas tecnologías dándole paso a sistemas robotizados y controlados por telemando, en el mercado podemos encontrar mini sistemas o brazos proyectores telescópicos para este fin.





- Se debería implementar en laboratorios acreditados a nivel nacional ensayos de absorción de energía de los paneles de shotcrete, ya que en la actualidad es poco común tener la prensa instalada en obra para ejecutar dichas pruebas, y es frecuente que estos moldes se envíen a Lima para su ensayo (PUCP, UNI). Esto quita rapidez, para los casos en los que se necesita obtener los resultados lo más pronto posible. Se han generado retrasos en la construcción o aprobación de trabajos y valorizaciones debido a la demora de realizar estos ensayos.
- Se debería dar más importancia a la implementación de pruebas previas (“bloque de prueba”) que reflejen los sucesos que se presentarán en las jornadas diarias del revestimiento y en general, de todas las etapas nuevas o más críticas en la construcción de una estructura importante dentro de un proyecto. Estos ensayos previos permitirían encontrar anticipadamente posibles problemas que alteren el proceso normal del trabajo.
- El curado del revestimiento del pique de presión, que se realizaba mediante uso del chorro manual de agua, tuvo la desventaja que fue descuidado o no tomado con la seriedad del caso. Para estas ocasiones similares, se debe implementar un sistema automatizado que permita mantener humedecidas las estructuras de este tipo.
- Para el caso del recubrimiento del acero de refuerzo instalado, se debe tener especial cuidado en este aspecto cuando se construye una estructura hidráulica. El nudo del alambre utilizado para el amarre de las barras de acero (atortolado), se debe realizar hacia dentro de la estructura, ya que al dejarlo hacia afuera, se disminuye el recubrimiento requerido para el acero de refuerzo. Esta condición comúnmente no es tomada en cuenta al momento de construir.



---

## **CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA**

- American Concrete Institute ACI (2002). Evaluation of Strength Test Results of Concret. (ACI 214). USA.
- American Concrete Institute ACI (2005). Guide to shotcrete (ACI 506R\_05). USA.
- American Society for Testing and Materials ASTM (2013). Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of concrete (ASTM C 42). USA.
- American Society for Testing and Materials ASTM (2012). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimnes (ASTM C 39). USA.
- Bekaert® (2012). Dramix 3D. (Ficha técnica).
- Bekaert® (2015). Prodimin - Aliado estratégico de la minería. (Catálogo). Perú.
- Camisón, C., Cruz, S., Gonzalez, T. (2006). Gestión de la Calidad: Conceptos, enfoques, modelos y sistemas. (Pearson Educación). España.
- Carhuamaca, J. (2009). Evaluación y optimización del sostenimiento con cimbras en minería subterránea. (Tesis de tiulación). Perú.
- Castem (2016). Cartuchos de resina. (Hoja técnica). Perú.
- Cerro del Águila S.A. (2014). Plan de Gestión del Proyecto. (Rev. 2). Perú.
- Cerro del Águila S.A. (2016). Plan para el llenado del Pique de Presión. Perú.
- Cerro del Águila S.A. (2016). Llenado del pique de presión y monitoreo de las filtraciones en el pique de cables. Perú.
- Cerro del Águila S.A. (2014). Evaluación preliminar de los aspectos geológicos e hidrogeológicos del pozo en presión. Perú.
- DAT Instruments (2012). Catálogo de productos. Italia.
- Dywidag-Systems International DSI (2007). Catálogo de Productos para Minería y Túneles.
- European Federation of National Associations Representing for Concrete EFNARC (2011). Programa de certificación para técnicos gunitadores.



- European Federation of National Associations Representing for Concrete EFNARC (1996). European Specification for Sprayed Concrete. Reino Unido.
- European Committee for Standardization CEN (2002). Testing sprayed concrete -Part 5: Determination of energy absorption capacity of fibre reinforced slab specimens. (EN 14488-5). Bruselas.
- Gastañadui, F. (2010). Control de Calidad del Concreto. (DINO S.A.). Perú.
- Gysling Poblete, A. H. (2003). Monitoreo de deformaciones y habilitación de nuevo camino la polvora – Tunel T3. (Tesis de titulación). Chile.
- Hermida, G. (2010). Revestimiento de túneles en concreto lanzado con fibras. (Reunión del Concreto). Colombia.
- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (2015). Guía Chilena del hormigón proyectado. (2a edición). Chile.
- Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto INECYC (2009). Control de Calidad en el hormigón. Ecuador.
- Lombardi, G. (1993). Diseño y control del inyectado empleando el principio GIN. (Lombardi S.A.). México.
- López, L. (2011). Shotcrete. (BASF Construction Chemical Perú S.A.). Perú.
- Navarro, S., Ortiz, R., Ruiz, J. Geotecnia aplicada a la construcción de túneles. (Asignatura de obras geotécnicas).
- Ocmer CO. (2014). Ficha técnica OCMER 046. Italia.
- Peihap (2016). Procedimiento para la Gestión de la Calidad. (Alto Piura). Perú.
- Portland Cement Association (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. (Boletín de Ingeniería EB201). USA.
- Putzmeister Underground (2016). Reducir el rebote de shotcrete: claves y consejos.
- Putzmeister Underground (2016). Shotcrete\_terminología.
- Putzmeister Underground (2016). Plastificantes y Superplastificantes.
- Putzmeister Underground (2016). Shotcrete reforzado con fibras.
- Putzmeister AG (2004). Concreto proyectado en la construcción de túneles.



- Seguridad Minera (2013). Selección de pernos de anclaje. (Revista). Perú.
- Sika Colombia S.A.S. (2014). Concreto reforzado con fibras. Colombia.
- Sika S.A.U. Madrid (2010). Túneles y obras subterráneas. España.
- Sika Services AG (2014). Durable Joint Sealing. Switzerland.
- Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (2004). Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea. Perú.
- ULMA Construction (2015). C.H. Cerro del Águila Consorcio Rio Mantaro Pique Ø8,00 m. (Estudio Técnico). Perú.

## CAPITULO VIII: ANEXOS

### ANEXO 01 – SHOTCRETE

---

#### CONCEPTO:

Básicamente es una mezcla de cemento, agregado y agua, proyectada neumáticamente y a alta velocidad sobre una superficie determinada.

La tecnología del Shotcrete lleva más de un siglo entre en el mundo de la construcción, desde inicios del siglo XX.

Inicialmente la mezcla básica de shotcrete, se utilizaba sólo conjuntamente con mallas metálicas instaladas previamente.



**GRÁFICO 221**

#### **SHOTCRETE EN CONJUNTO CON MALLAS METÁLICAS**

(Fuente: “Revestimiento de túneles en concreto lanzado con fibras” – Germán Hermida)

Se le conoce como:

- Concreto Lanzado u Hormigón proyectado: Tamaño máximo de árido de 12-16 mm.
- Mortero Lanzado: Tamaño máximo de árido de 6 mm.
- Gunita: Nombre comercial para el Concreto Lanzado por Vía Seca.





**GRÁFICO 222**

**TERMINOLOGÍA MÁS POPULAR EN PAÍSES DE HABLA HISPANA**

(Fuente: “Shotcrete\_terminología” – Putzmeister Underground)

A la mezcla básica de shotcrete, se le puede incorporar aditivos químicos (plastificantes, acelerantes de fragua), adiciones minerales (micro sílice, escoria, etc.) y fibras estructurales (sintéticas, metálicas, etc.), para alcanzar determinadas características solicitadas.

El Shotcrete se puede proyectar con equipos controlados por un sistema robotizado o controlado manualmente, por el método de vía húmeda o vía seca.

La tecnología del Shotcrete entró para revolucionar principalmente el mundo de la construcción de túneles y minería. Todo el desarrollo científico de sus materiales constituyentes y equipos de proyección, han situado al concreto lanzado como la mezcla por excelencia de las obras subterráneas.

Sin embargo, cabe indicar que también tiene aplicaciones en obras de superficie como revestimiento de taludes, canales, reservorios, etc.

Principales características:

- Adaptación al contorno irregular de las excavaciones.
- Rapidez de aplicación y en puesta en servicio (resistencia temprana).
- Sellado de superficies.
- Fortalecimiento del terreno.

Estas propiedades favorables, se consiguen con buenas especificaciones y materiales, preparación adecuada, y buenas prácticas constructivas en la aplicación y control en general.

## **COMPONENTES:**

Actualmente esta mezcla está comprendida por:

### **AGREGADO**

El árido constituye aproximadamente el 65% del peso de la mezcla total. La composición del mismo influye mucho en las propiedades que adquiera la mezcla en estado fresco, durante la aplicación, y en estado endurecido para su eficaz puesta en servicio.

### **CEMENTO**

En el mayor de los casos el shotcrete es producido con cemento portland, conforme a la norma ASTM C 150.

### **AGUA**

El agua utilizada debe estar libre de sustancias perjudiciales que puedan afectar la resistencia y durabilidad de la mezcla preparada.

**Relación agua/cemento (a/c):** es importante para la durabilidad de la mezcla colocada. Comúnmente varía entre 0.40 y 0.50.

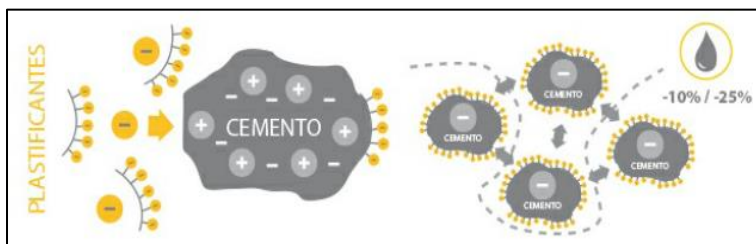
### **ADICIONES MINERALES**

Son materiales finos, de estructura parecida al cemento. Estas adiciones se incorporan con el fin de mejorar las propiedades de la mezcla (trabajabilidad, permeabilidad, etc).

### **ADITIVOS QUÍMICOS**

Son dosificados en la mezcla para obtener ciertas características requeridas según la situación en obra y/o lo indicado en los requerimientos contractuales.

- **Plastificantes:** Generan un efecto de dispersión temporal de la mezcla. Permiten aumentar la trabajabilidad sin afectar su consistencia y sin pérdida de resistencia. Se añaden durante la preparación de la mezcla.

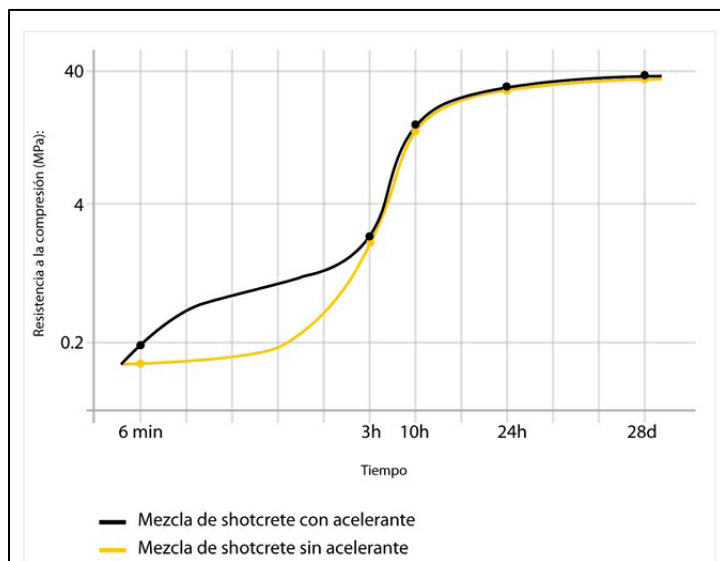


**GRÁFICO 223**

### **EFFECTO DEL ADITIVO PLASTIFICANTE - DISPERSIÓN TEMPORAL DE LA MEZCLA**

(Fuente: “Plastificantes y Superplastificantes” – Putzmeister Underground)

- **Acelerantes de fragua:** Al acelerar la fragua de la mezcla, se mejora la adherencia de ésta a la superficie donde se aplica, principalmente cuando se proyecta la mezcla sobre la cabeza y en capas de mayor espesor, además de permitir el desarrollo de resistencias a temprana edad. A diferencia de los plastificantes, este aditivo se dosifica inmediatamente antes de su proyección en la boquilla de salida de mezcla de la bomba impulsadora.

**GRÁFICO 224****EFFECTO DEL ADITIVO ACELERANTE - AUMENTO DE RESISTENCIAS A EDAD TEMPRANA**

(Fuente: “Plastificantes y Superplastificantes” – Putzmeister Underground)

**FIBRAS ESTRUCTURALES**

Estas fibras de refuerzo tienen como función dar la tenacidad (resistencia a la fisuración) y ductilidad (absorción de carga) al concreto que por sí solo éste no presenta, limitando la presencia de fisuras y controlando el agrietamiento.

En pocas palabras, el concreto reforzado con fibras permite a la estructura, después de aparecida la falla, continuar absorbiendo carga sin colapsar (continuar funcionando).



**GRÁFICO 225**

**ACCIÓN DE LAS FIBRAS ESTRUCTURALES EN EL CONTROL DEL AGRIETAMIENTO**

(Fuente: “Concreto reforzado con fibras” – Sika Colombia S.A.S)

Su uso como parte del shotcrete, ha mejorado la productividad de las obras donde es utilizada esta tecnología en lugar de utilizar malla metálica. Otorga:

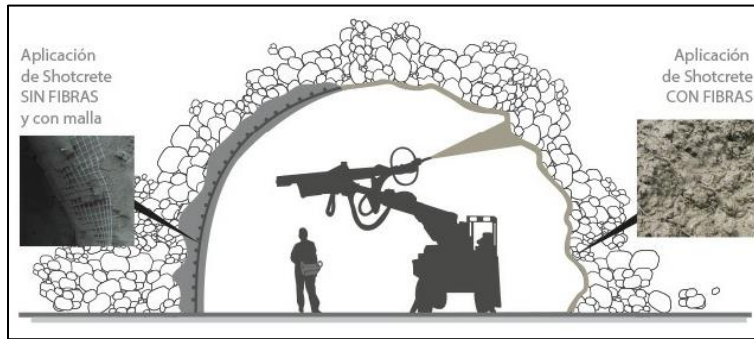
- Mayor productividad.
- Menor tiempo de terreno inestable.
- Distribución más uniforme en el perfil de la superficie.
- Reduce la presencia de mayores espesores de mezcla proyectada.
- Reduce el efecto rebote.
- Mejor compactación.



**GRÁFICO 226**

**INSTALACIÓN MANUAL DE MALLA EN TÚNELES**

(Fuente: “Revestimiento de túneles en concreto lanzado con fibras” – Germán Hermida)



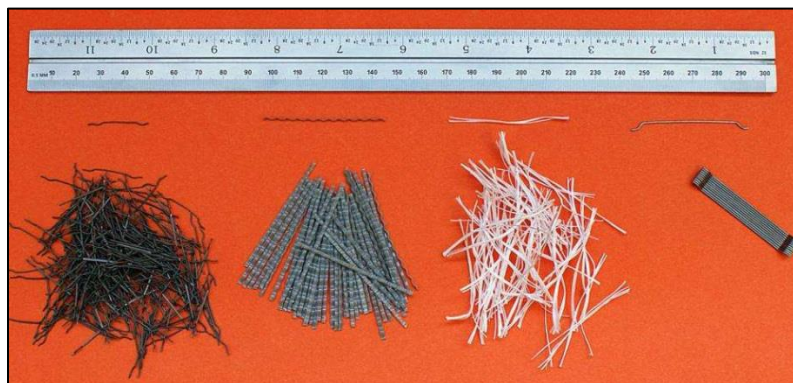
**GRÁFICO 227**  
**COMPARACIÓN - SHOTCRETE SIN FIBRAS Y CON MALLA / SHOTCRETE CON FIBRAS**

(Fuente: “Shotcrete reforzado con fibras” – Putzmeister Underground)

- **Fibras metálicas:** Normalmente de acero trefilado.
- **Fibras sintéticas:** Normalmente de polipropileno. Tienen mejor resistencia a la corrosión y menor peso que las metálicas.
- **Fibras de vidrio:** Son las más costosas. Resistentes al álcali.

Todas las fibras presentan como principal propiedad geométrica su relación de aspecto (L/D), ya que ésta característica va de la mano con la mayor tenacidad y ductilidad.

Sin embargo, una inadecuada elección de característica geométrica de la fibra a utilizar y una inadecuada dosificación puede dificultar el proceso de vaciado de la mezcla. Se recomienda que la longitud de la fibra no supere el 60% el diámetro de la tubería y controlar la cantidad de fibras necesarias a utilizar, ya que en exceso, disminuye la trabajabilidad de la mezcla.



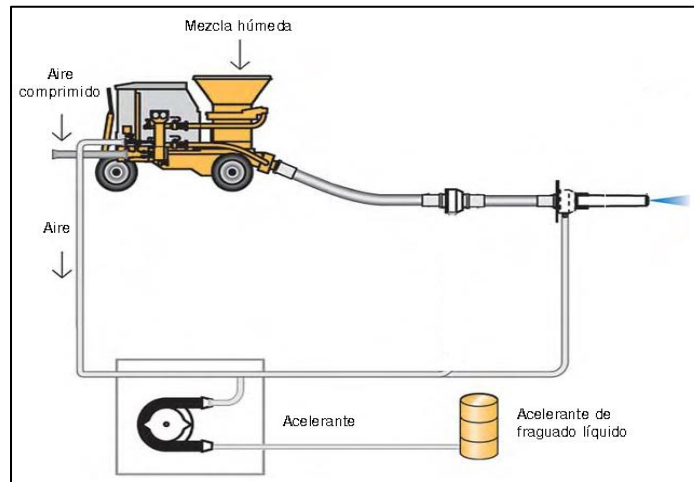
**GRÁFICO 228**  
**TIPOS DE FIBRAS ESTRUCTURALES**  
(Fuente: “Concreto reforzado con fibras” – Sika Colombia S.A.S)



## MÉTODOS DE APLICACIÓN:

### **SHOTCRETE POR VÍA HÚMEDA**

La mezcla preparada previamente (con los componentes indicados según el requerimiento, a excepción del aditivo acelerante) se deposita en la tolva del equipo impulsador para ser transportado a través de las tuberías hasta la boquilla de lanzado, donde se mezcla con el aditivo acelerante dosificado (programado) y con el aire comprimido que permite su proyección hacia la superficie.

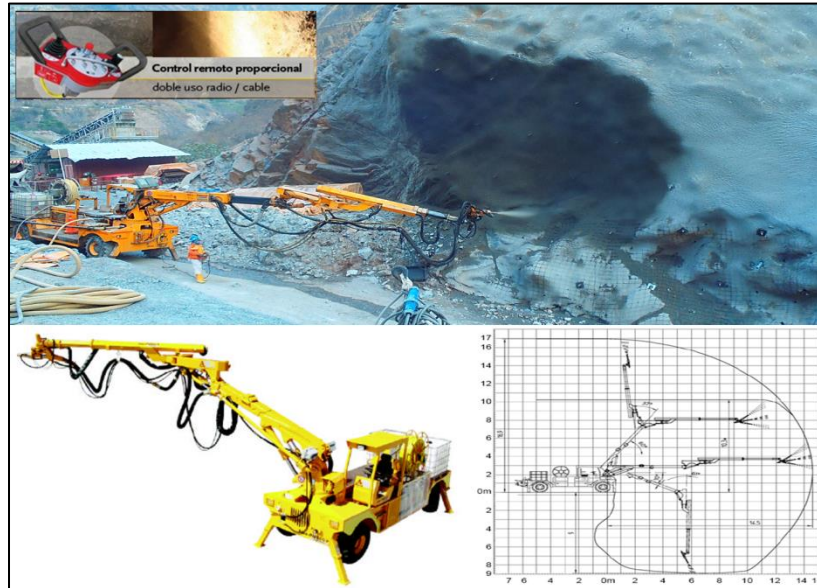


**GRÁFICO 229**

### **SHOTCRETE POR VÍA HÚMEDA – ESQUEMA**

(Fuente: “Túneles y obras subterráneas” – Sika S.A.U. Madrid)

- **Lanzado con equipo robotizado:** Es el método más eficiente. Utilizado principalmente en proyectos de gran envergadura, influye directamente en la productividad del sostenimiento y, es controlado remotamente por un operador (brazo proyector telescópico), lo cual mejora el control del proceso mismo y la seguridad del personal operativo.



**GRÁFICO 230**

**LANZADO CON EQUIPO ROBOTIZADO – VÍA HÚMEDA**

(Fuente: Propia / “Concreto proyectado en la construcción de túneles” – Putzmeister AG)

- **Lanzado con equipo controlado manualmente:** Utilizado en espacios más reducidos y/o donde no se puede acceder con el equipo robotizado.



**GRÁFICO 231**

**LANZADO CON EQUIPO CONTROLADO MANUALMENTE – VÍA HÚMEDA**

(Fuente: Ficha técnica OCMER 046 – [www.ocmer.it](http://www.ocmer.it))

**SHOTCRETE POR VÍA SECA**

La mezcla seca preparada previamente (con los componentes indicados según el requerimiento, a excepción del agua y del aditivo acelerante) se deposita en la tolva del equipo impulsador para ser transportado a través de las tuberías hasta la boquilla de lanzado, donde se mezcla con el aire comprimido que permite su proyección hacia la superficie y con la mezcla de agua y aditivo acelerante diluido, el agua + aditivo acelerante lo dosifica el operador directamente según su necesidad, lo que se refleja en una relación agua/cemento muy variable.

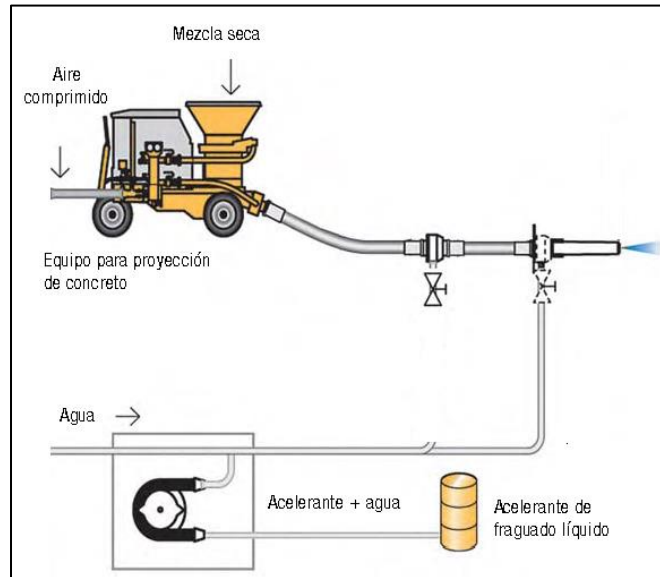


GRÁFICO 232

### SHOTCRETE POR VÍA SECA – ESQUEMA

(Fuente: “Túneles y obras subterráneas” – Sika S.A.U. Madrid)

- **Lanzado con equipo robotizado:** Utilizado en muy pocos casos, porque al tener un equipo robotizado se estaría desperdiciando en gran parte la eficiencia del equipo, sin embargo se puede presentar por circunstancias logísticas que así lo ameritan. Se es más eficiente al compararlo con el lanzado vía seca controlado manualmente
- **Lanzado con equipo controlado manualmente:** Fue el primer método usado en la historia del shotcrete. Utilizado actualmente solo cuando no se tiene fácil acceso a espacios muy restringidos, para reparaciones y aplicaciones en pequeñas cantidades.

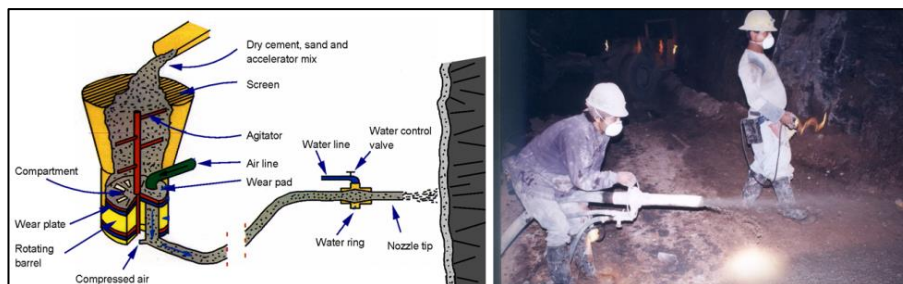


GRÁFICO 233

### LANZADO CON EQUIPO CONTROLADO MANUALMENTE – VÍA SECA

(Fuente: Propia / “Concreto proyectado en la construcción de túneles” – Putzmeister AG)



	VÍA SECA	VÍA HÚMEDA
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"><li>- Maquinaria más económica.</li><li>- Uso en espacios reducidos y poco accesibles.</li><li>- Mezcla seca con mayor tiempo de almacenamiento (mayor tiempo de transporte).</li><li>- Se reduce el posible desperdicio de mezcla.</li><li>- Ideal para aplicaciones de poco volumen.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Relación a/c controlada.</li><li>- Mayor productividad y tecnología.</li><li>- Requiere menos personal operativo en la labor.</li><li>- Menor rebote de mezcla lanzada (5 a 15%).</li><li>- Menor generación de polvo.</li><li>- Mezcla lanzada más homogénea.</li></ul>
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"><li>- Relación a/c muy variable. (influye la humedad de los agregados y fraguado anticipado del cemento).</li><li>- Equipos pequeños lo que refleja en una baja productividad.</li><li>- Requiere más personal operativo en la labor.</li><li>- Mayor rebote de mezcla lanzada (30 a 40%).</li><li>- Mayor generación de polvo.</li><li>- Poca homogeneidad de la mezcla lanzada.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Mayor costo de maquinaria y mantenimiento.</li><li>- Poca accesibilidad a espacios reducidos.</li><li>- Mayor riesgo de desperdicio de mezcla preparada.</li></ul>

**TABLA 023**  
**SHOTCRETE - DIFERENCIAS ENTRE MÉTODO VÍA SECA Y VÍA HÚMEDA**  
(Fuente: Propia)

## **ANEXO 02 – SOSTENIMIENTO CON CIMBRA METÁLICA**

### **CONCEPTO:**

Este tipo de sostenimiento es utilizado para terrenos con presencia de altos esfuerzos, que atraviesan roca muy débil y fracturada.

Al utilizar las cimbras se obtiene un control de la estabilidad en las condiciones mencionadas, proporciona soporte aun cuando hayan ocurrido deformaciones (evitando el colapso del estrato), todo esto es permitido gracias a las propiedades de deformación y resistencia mecánica de estos elementos.

### **TIPOS DE CIMBRA:**

#### **RÍGIDAS:**

Este tipo de cimbra, fue la utilizada en obra.

La geometría de estas cimbras se construyen en función de la forma de la excavación, es así que la cimbra que se adapte la forma requerida puede estar constituida por 2, 3 o más partes unidas a través de pernos, platinas y soldadura.

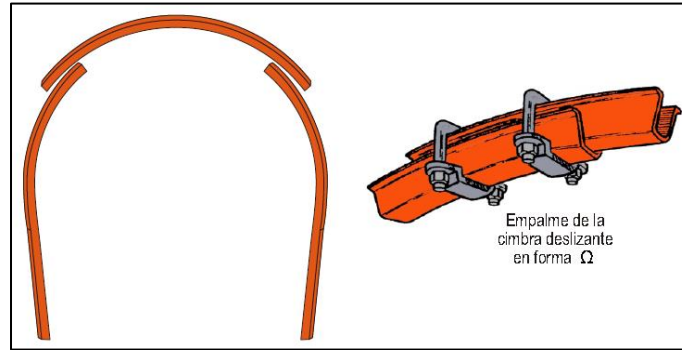


**GRÁFICO 234**  
**CIMBRA RÍGIDA – DETALLE DE UNIÓN**  
(Fuente: Catálogo PRODIMIN)

#### **DESLIZANTES:**

La geometría de estas cimbras se construyen en función de la forma de la excavación, la cimbra que se adapte la forma requerida puede estar constituida usualmente por 3 segmentos que se deslizan entre sí, sujetos y ajustados con uniones de tornillo.





**GRÁFICO 235**  
**CIMBRA DESLIZANTE – DETALLE DE UNIÓN**

(Fuente: “Evaluación y optimización del sostenimiento con cimbras en minería subterránea” – José Carhuamaca)

### **COMPONENTES:**

Los componentes complementarios para el correcto funcionamiento del sistema con cimbras son:

#### **PLANCHA ACANALADA:**

Son comunes las de metal y onduladas, pero en minas también se usan en este encostillado tableros de madera.

Cubre el espacio entre cimbras, dando protección ante algún eventual desprendimiento del estrato.

#### **DISTANCIADOR:**

También conocido como tirante de conexión, el material más usado para su fabricación es el fierro corrugado.

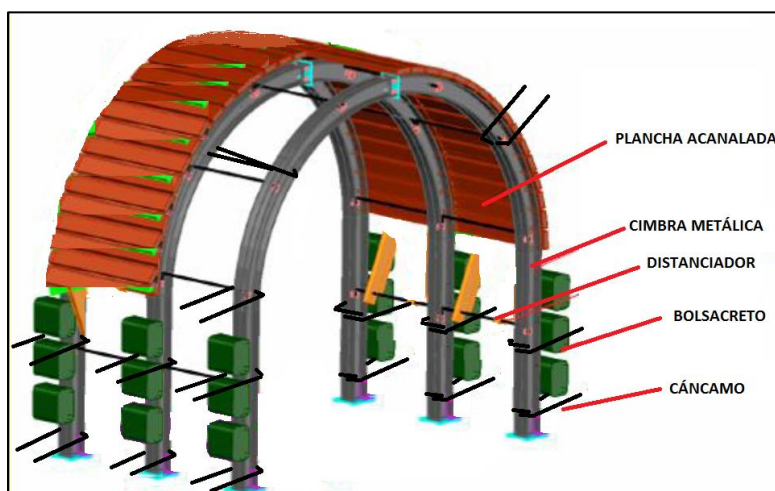
#### **CÁNCAMO:**

Permite anclar la cimbra hacia el terreno, comúnmente son piezas en forma de bastón y de fierro corrugado.

#### **BOLSACRETO:**

Es el elemento de bloqueo, ubicado en el espacio entre cimbras y la superficie excavada. Son sacos conteniendo una mezcla seca de arena y cemento, los cuales una vez colocados son rociados con agua para que fragüen y sirvan como elementos transmisores de la carga del terreno hacia las cimbras metálicas.

Se aclara que para el caso de las cimbras colocadas en el pique de presión, este espacio fue rellenado con mezcla de concreto (vaciado in situ).



**GRÁFICO 236**

**SOSTENIMIENTO CON CIMBRA – ESQUEMA GENERAL**

(Fuente: “Evaluación y optimización del sostenimiento con cimbras en minería subterránea” – José Carhuamaca)

## ANEXO 03 – PERNOS DE SOSTENIMIENTO

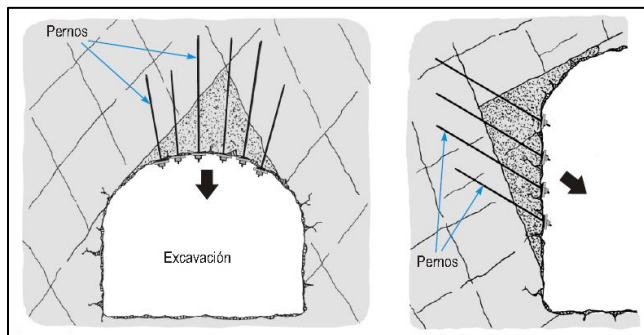
### CONCEPTO:

El empleo de pernos de sostenimiento o de anclaje en la excavación de obras subterráneas, minimiza las deformaciones inducidas por el peso del estrato rocoso alterado y por el reacomodo de esfuerzos ocasionado, logrando un equilibrio tensional. Así mismo, mejora las propiedades mecánicas del estrato sostenido.

Pueden ser instalados de forma radial o puntual, según la condición del estrato atravesado y/o encontrado. Cada perno crea una especie de punto de resistencia, el cual al interactuar con los pernos adyacentes forman un arco portante, otorgando estabilidad al estrato.

Los pernos en general, corrigen ciertas condiciones y/o efectos que presenta la roca excavada.

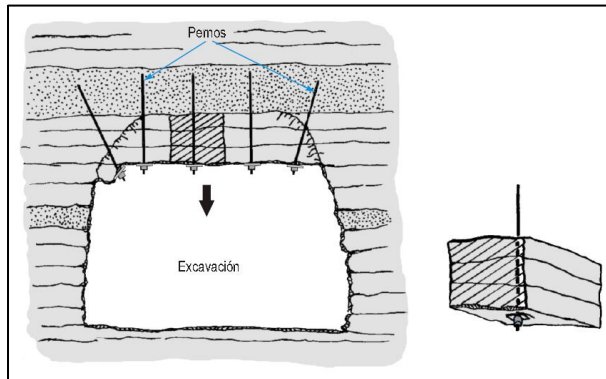
- **Efecto Cuña:** Condición del terreno formada por la intersección de dos o más discontinuidades (fallas). Los pernos controlan la estabilidad de estos bloques potencialmente inestables.



**GRÁFICO 237**  
**SOSTENIMIENTO CON PERNOS – EFECTO CUÑA**

(Fuente: “Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea” – Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía)

- **Efecto Viga / Efecto Columna:** Condición del terreno formada por un sistema de discontinuidades paralelas entre sí. Los pernos permiten “amarrar” estos bloques de roca separados por las discontinuidades.



**GRÁFICO 238**

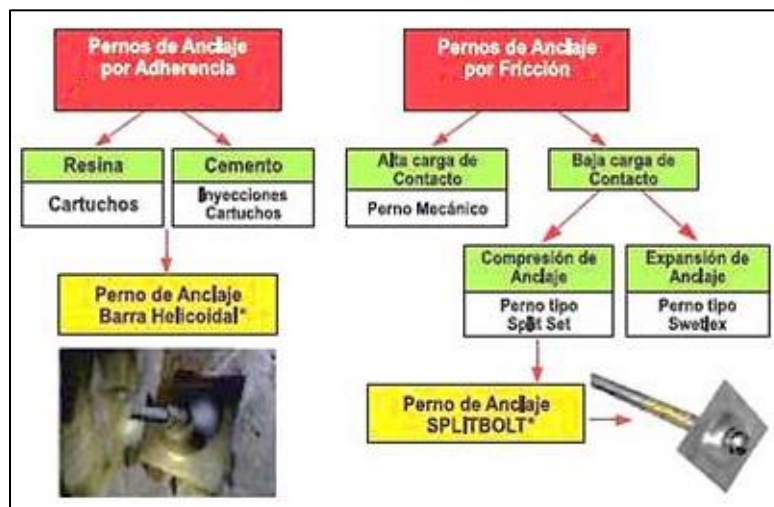
**SOSTENIMIENTO CON PERNOS – EFECTO VIGA**

(Fuente: “Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea” – Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía)

**TIPOS DE PERNOS:**

Existe diversidad de pernos en el mercado actualmente. La selección del sistema adecuado está en función de factores tanto geomecánicos (del macizo rocoso) y operativos (evaluación del tiempo de exposición, capacidad de carga del perno, costos, etc).

Los pernos de sostenimiento están agrupados en dos categorías generales según su resistencia de interface (perno – roca):



**GRÁFICO 239**

**TIPOS DE PERNOS DE SOSTENIMIENTO**

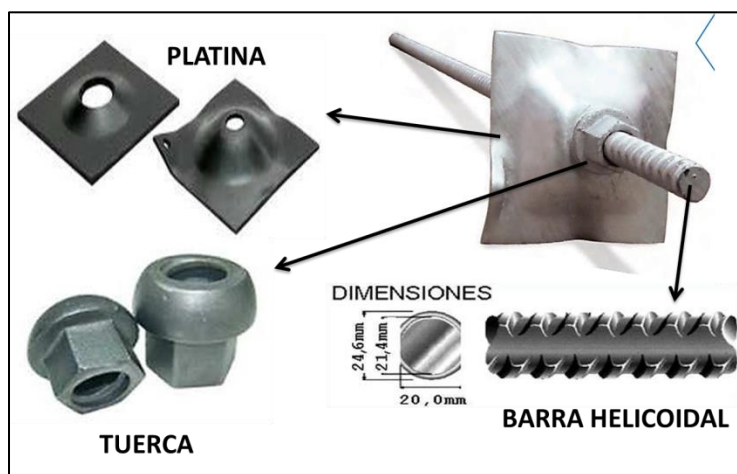
(Fuente: “Selección de pernos de anclaje” – Revista Seguridad Minera\_Martín Flores)

## PERNOS POR ADHERENCIA

Dentro de este grupo se encuentran los pernos de barra helicoidal y fierro corrugado. Los cuales se confinan a la roca mediante un agente cementante (resina o lechada de cemento).

- **Perno Helicoidal:** Es una barra roscada con resaltes en forma de hilo helicoidal, que trabaja en conjunto con una placa o platina perforada centralmente y una tuerca de sujeción.

El tipo de perno de barra helicoidal utilizado en obra está dentro de este grupo (interface por adherencia), usando como agente cementante a la resina poliéster en su presentación por cartuchos. Estos pernos se anclaron a un tercio de su longitud extrema dentro del taladro (zona del bulbo o zona interface) con resina de fragua rápida, y el resto del perno embebido con resina de fragua lenta.



**GRÁFICO 240**  
**COMPONENTES DE UN PERNO HELICOIDAL**  
(Fuente: Catálogo PRODIMIN)

- **Resina:** La presentación de esta resina es a través de un cartucho, compuesto por dos materiales (una resina poliéster y un catalizador químico o acelerante) dispuestos en compartimientos separados por una lámina que impide que se mezclen antes de ser usados. Ya luego en la instalación, este cartucho es roto por la rotación del perno helicoidal, mezclando los 02 componentes y dando inicio a la fragua de la mezcla generada, endureciendo en corto tiempo.

Características de los cartuchos de resina empleados en obra:

**Resina de fragua rápida:** Fraguado de 1 minuto.

**Resina de fragua lenta:** Fraguado de 3 a 5 minutos.



Estos valores de tiempo de fragua, puede reducirse si hay un aumento de temperatura ambiente a partir de 20°C.

Es muy importante tener en cuenta las dimensiones de los cartuchos adquiridos en obra (longitud y diámetro), en función del diámetro del perno y taladro ejecutado.

El anclaje que se genera entre el perno y la roca está presente a lo largo de todo el taladro, cubierto por la resina, que a su vez proporciona protección contra la corrosión a la barra helicoidal.

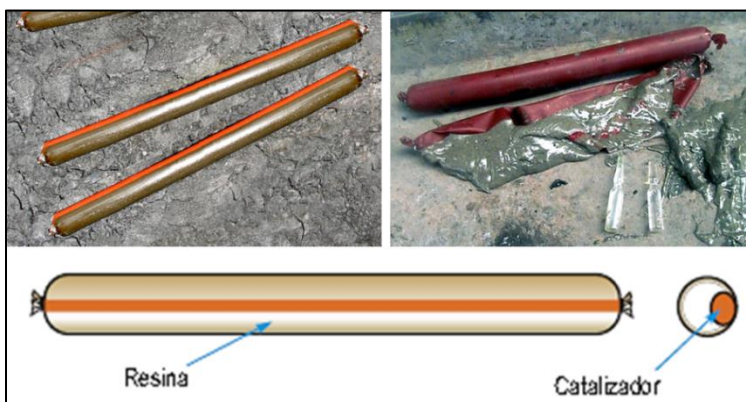


GRÁFICO 241

### ESTRUCTURA Y COMPONENTES DEL CARTUCHO DE RESINA

(Fuente: Hoja técnica resina Ground Lock - Castem)

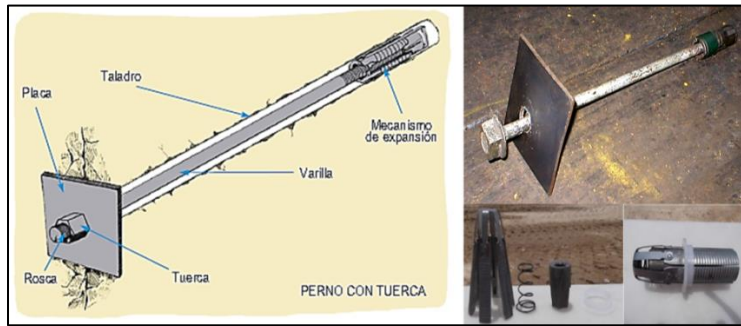
### PERNOS POR FRICCIÓN

Dentro de este grupo de pernos se encuentran los comúnmente utilizados: Perno mecánico, Perno Swellex y Perno Split Set.

Este mecanismo resiste las cargas de tensionamiento por fuerzas de fricción al contacto entre la roca y el perno, por lo tanto no se usa ningún tipo de adherente.

La ventaja del perno por adhesión con relación al perno por fricción es que el primero puede desarrollar cargas mayores (superior a las 20 toneladas). En cambio, los pernos por fricción solo pueden soportar cargas menores a 10 toneladas.

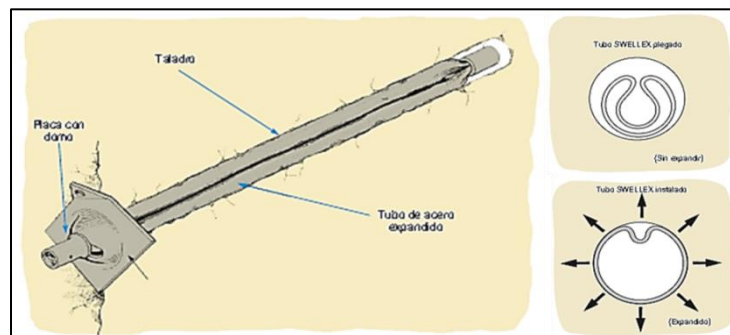
- **Perno Mecánico:** Existe una excepción con el Perno mecánico, ya que se ha demostrado que puede resistir cargas elevadas con su funcionamiento de cabeza expansiva (fricción entre el perno y roca en el tramo final del taladro). En este tipo de perno la zona libre de taladro puede ir rellena de lechada de cemento.



**GRÁFICO 242**  
**PERNO MECÁNICO**

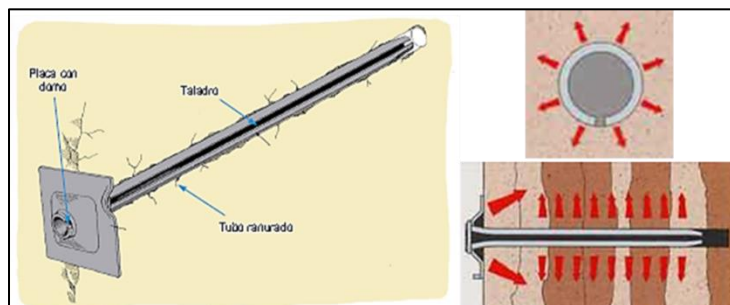
(Fuente: “Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea” – Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía)

- **Perno Swellex y Perno Split Set:** Estos pernos por fricción generalmente son usados en excavaciones de uso temporal como es el caso de túneles secundarios en minas de corta duración o donde la roca es muy buena y el requerimiento de soporte es mínimo.



**GRÁFICO 243**  
**PERNO SWELLEX**

(Fuente: “Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea” – Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía)



**GRÁFICO 244**  
**PERNO SPLIT SET**

(Fuente: “Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea” – Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía)

## ANEXO 04 – PLATAFORMAS DE TRABAJO Y ENCOFRADO CIRCULAR TREPANTE

### PLATAFORMAS DE TRABAJO:

Se dispuso de un sistema trepante con 03 plataformas de trabajo comunicadas entre sí a través de escaleras de acceso.

La **plataforma superior** permitió ejecutar las labores de colocación de acero de refuerzo y vaciado de concreto.

La **plataforma intermedia** contenía los paneles del encofrado para su manipulación y permitía colocar los encajes abatibles. Además contaba con 06 ruedas que servía de guía durante el izado del sistema.

La **plataforma inferior** era complementaria para poder recuperar los elementos auxiliares del sistema trepante.

Todo este conjunto fue izado utilizando el puente grúa.

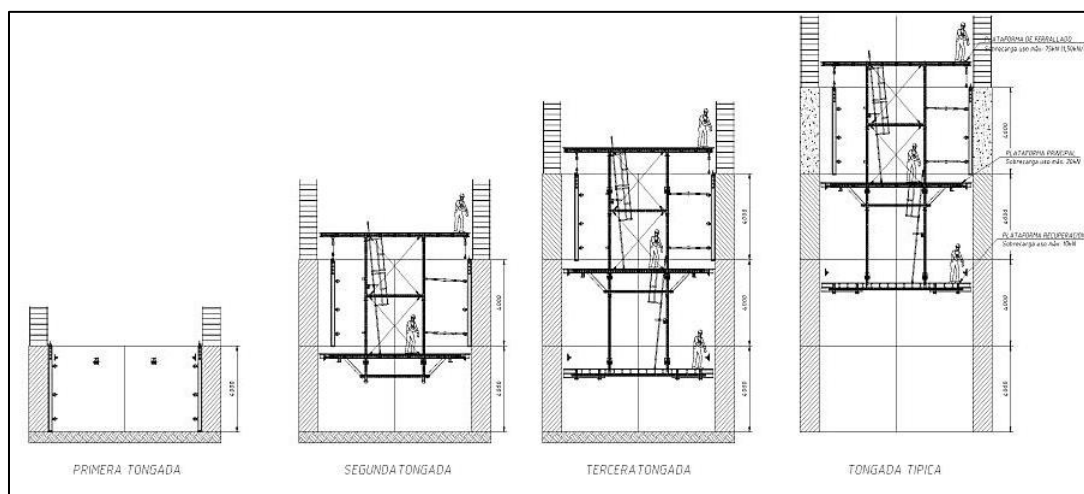


GRÁFICO 245

### SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN DE PLATAFORMAS DE TRABAJO Y ENCOFRADO CIRCULAR TREPANTE

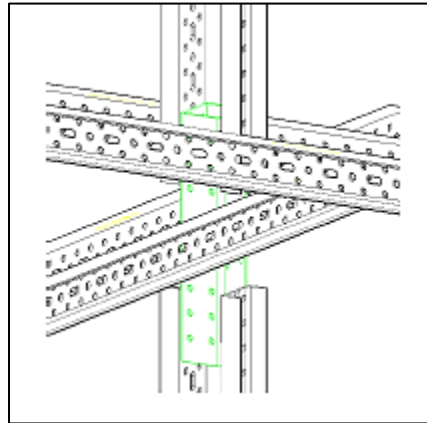
(Fuente: Estudio Técnico del encofrado ULMA – CH Cerro del Águila)

### ENCOFRADO CIRCULAR TREPANTE:

La estructura del sistema trepante está formada por:

#### PERFILES METÁLICOS:

Que forman un armazón unidos entre sí.



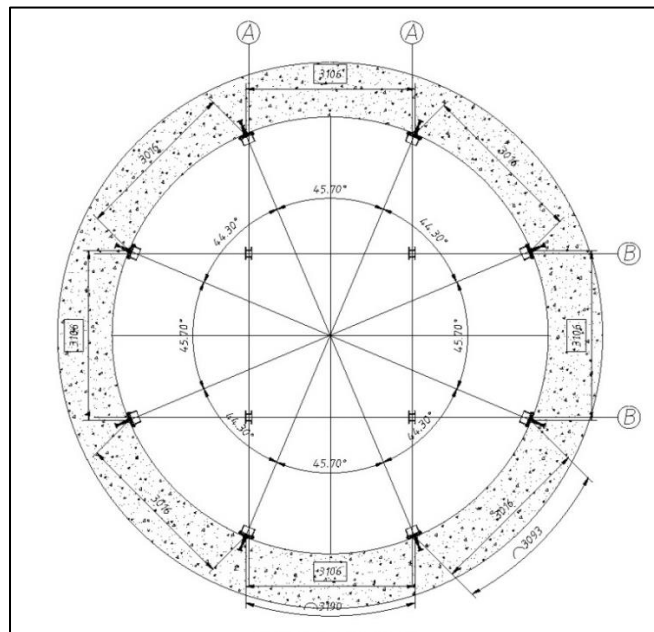
**GRÁFICO 246**

**SISTEMA TREPANTE – PERFILES DE LA ESTRUCTURA**

(Fuente: Estudio Técnico del encofrado ULMA – CH Cerro del Águila)

**ENCAJE ABATIBLE Y CONOS DE ANCLAJE:**

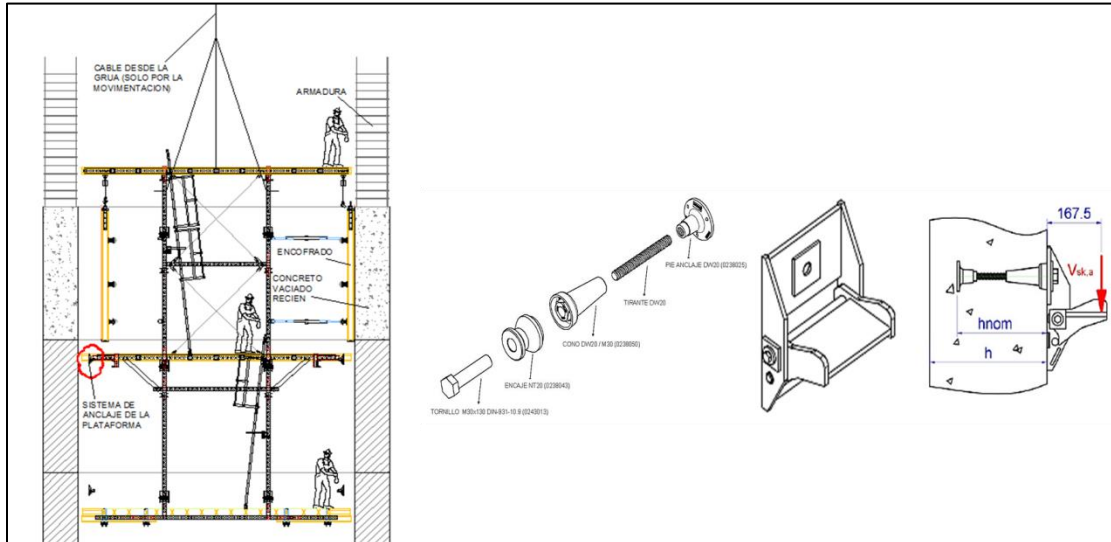
El peso de la estructura se apoya en los encajes abatibles (08 elementos removibles) que se posicionaban en el muro a través de los conos de anclaje, estos últimos eran instalados previo a cada vaciado.



**GRÁFICO 247**

**SISTEMA TREPANTE – VISTA EN PLANTA DE UBICACIÓN DE CONOS DE ANCLAJE Y ENCAJE ABATIBLE**

(Fuente: Estudio Técnico del encofrado ULMA – CH Cerro del Águila)

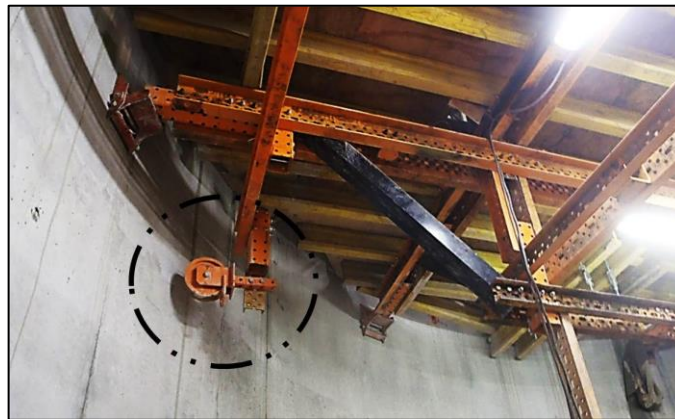


**GRÁFICO 248**  
**SISTEMA TREPANTE – DETALLE DE CONOS DE ANCLAJE Y ENCAJE ABATIBLE**

(Fuente: Estudio Técnico del encofrado ULMA – CH Cerro del Águila)

#### **RUEDAS GUÍAS:**

Ubicadas en el perímetro de la plataforma intermedia (06 unidades), empleadas como complemento para el izado del sistema.



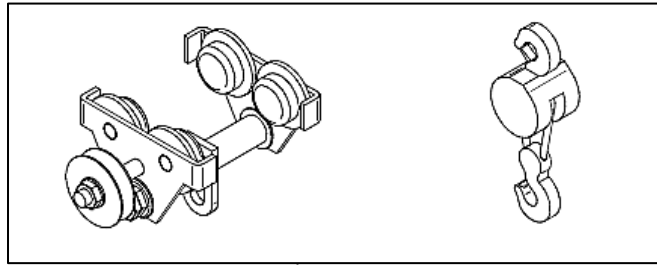
**GRÁFICO 249**  
**SISTEMA TREPANTE – Rueda guía**

(Fuente: Estudio Técnico del encofrado ULMA – CH Cerro del Águila)

#### **CARRO PORTAPOLEA Y POLEA:**

Ubicados en la plataforma intermedia. Estos elementos permitían las maniobras con el encofrado.





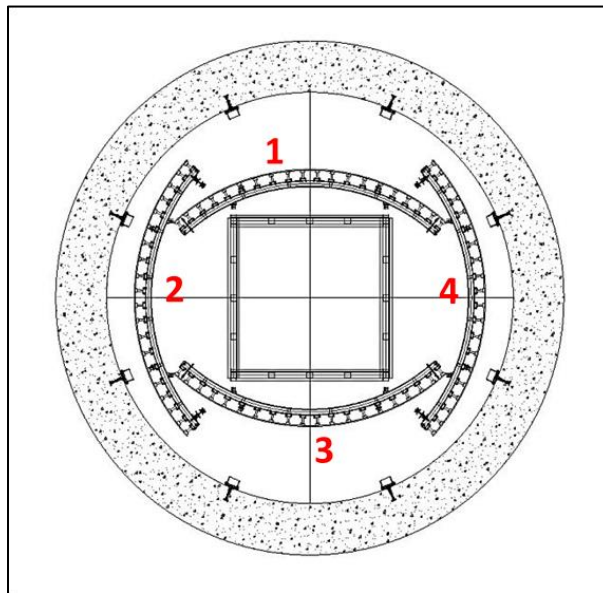
**GRÁFICO 250**

**SISTEMA TREPANTE – Detalle de carro portapolea y polea**

(Fuente: Estudio Técnico del encofrado ULMA – CH Cerro del Águila)

**PANELES DEL ENCOFRADO:**

El vaciado se realizó contra el terreno, es así que este encofrado al no usar tirantes, se diseñó para comportarse como un anillo a compresión, formado por 04 paneles que eran suspendidos y colocados en su posición final a través de un sistema de poleas dentro la plataforma intermedia del sistema trepante.



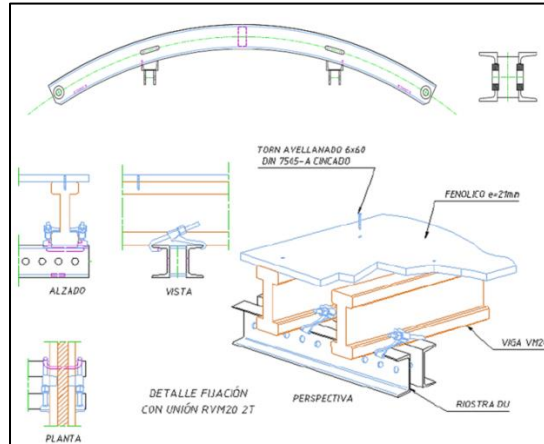
**GRÁFICO 251**

**VISTA EN PLANTA DE LOS 04 PANELES DEL ENCOFRADO**

(Fuente: Estudio Técnico del encofrado ULMA – CH Cerro del Águila)

**RIOSTRA CURVA DU120 Y VIGAS VM20:**

Estos 04 paneles estuvieron compuestos cada uno por 03 riostras curvas (DU120) sobre las que se montan vigas VM20 y sobre estas el forro de madera fenólica (que da el acabado al revestimiento).



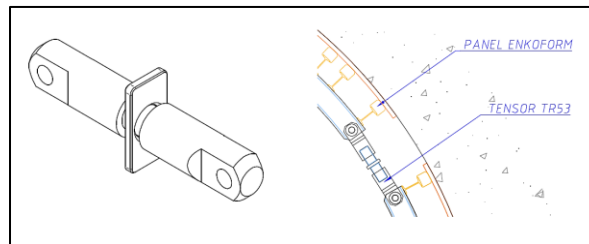
**GRÁFICO 252**

**DETALLE DE CONJUNTO RIOSTRA CURVA, VIGAS Y FENÓLICO**

(Fuente: Estudio Técnico del encofrado ULMA – CH Cerro del Águila)

**TENSORES TR53:**

Para unir los paneles a través de las riostras y transmitir los esfuerzos originados, se usaron tensores TR53.



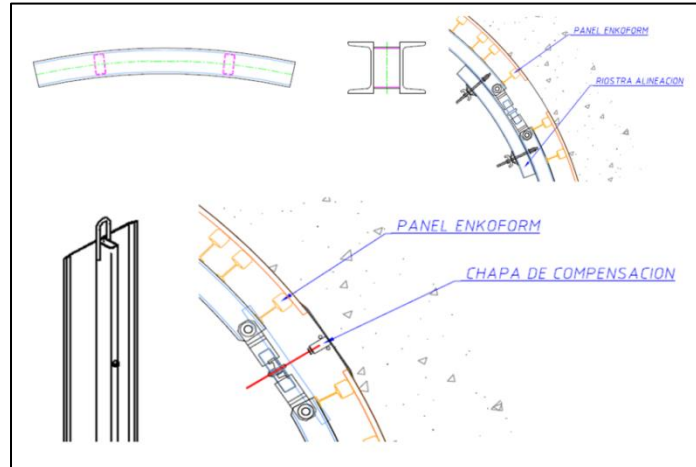
**GRÁFICO 253**

**TENSOR TR53**

(Fuente: Estudio Técnico del encofrado ULMA – CH Cerro del Águila)

**CHAPAS DE COMPENSACIÓN Y RIOSTRAS DE ALINEACIÓN:**

También entre los paneles van chapas de compensación o tapes (para el posterior desencofrado y evitar “pestañas” entre paneles) y riostras de alineación para asegurar la geometría entre las riostras curvas.



**GRÁFICO 254**

**DETALLE DE CHAPA DE COMPENSACIÓN Y RIOSTRA DE ALINEACIÓN**

(Fuente: Estudio Técnico del encofrado ULMA – CH Cerro del Águila)

**ACCESO DE PERSONAL Y TRANSPORTE DE MATERIALES:**

En la parte superior del pique (sobre la cota 1507.15 msnm) se encontraban 02 puentes grúa, el de 5 toneladas fue usado para trasladar al personal al lugar de trabajo y materiales menores utilizando una canastilla cerrada, y un puente grúa de 25 toneladas para trasladar el acero de refuerzo y ascender el sistema trepante.



**GRÁFICO 255**

**CANASTILLA PARA TRASLADO DE PERSONAL, MATERIALES Y EQUIPOS MENORES**

(Fuente: Propia)

## **ANEXO 05 – TIPO DE SOSTENIMIENTO PROYECTADO PARA EL PIQUE DE PRESIÓN**

---

Se resume a continuación el tipo de sostenimiento proyectado a aplicar (elementos que componen cada tipo de sostenimiento) en la excavación del pique de presión y según la evaluación del estrato:

- **Sostenimiento tipo “A”:**

**Concreto lanzado preventivo:**

Espesor de capa de 5@10 cm.

$F'c = 20/25$  MPa.

Fibra de acero en cantidad de 30 kg/m<sup>3</sup> de mezcla.

**Pernos:**

Pernos puntuales instalados con resina poliéster (1@5 pernos, según lo evaluado in situ).

Calidad de acero = ASTM A-615 Gr. 75.

Diámetro = 25 mm.

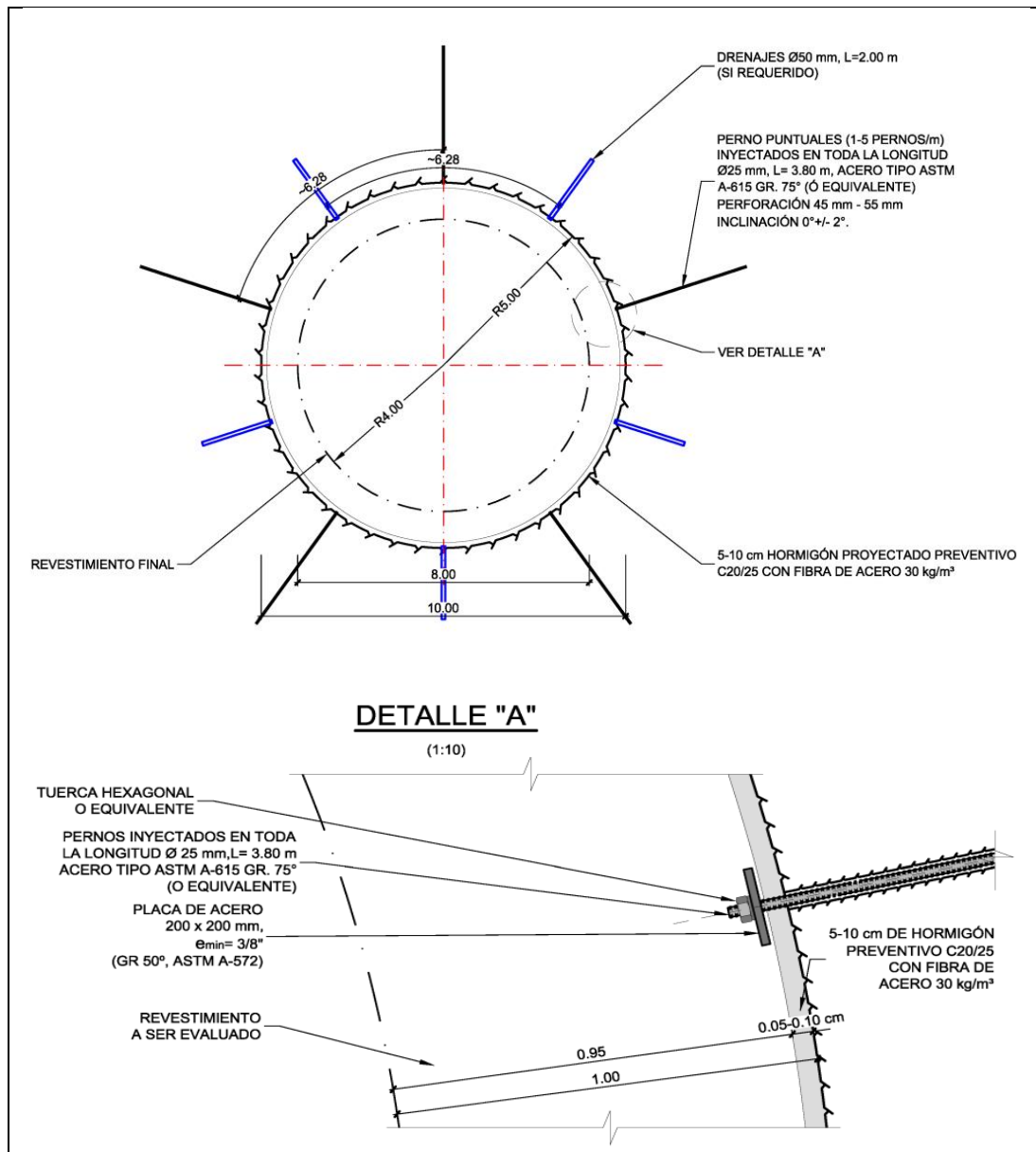
Longitud = 4.00 m.

Diámetro de taladro perforado = 45@55 mm.

**Drenajes (si era requerido, según lo evaluado in situ):**

Diámetro = 50 mm.

Longitud = 2.00 m.



**GRÁFICO 256**

**SOSTENIMIENTO TIPO "A" PROYECTADO PARA EL PIQUE DE PRESIÓN**  
(Fuente: Plano PE-LOM-5O-17050102-EXC-001-R0 – Secciones de Sostenimiento)





- **Sostenimiento tipo “B”:**

**Concreto lanzado preventivo:**

Espesor de capa de 5@10 cm.

$F'_c = 20/25$  MPa.

Fibra de acero en cantidad de 30 kg/m<sup>3</sup> de mezcla.

**Pernos:**

08 Pernos distribuidos a tresbolillo 4.00x4.00 m. instalados con resina poliéster (la cantidad podía aumentar según lo evaluado in situ).

Calidad de acero = ASTM A-615 Gr. 75.

Diámetro = 25 mm.

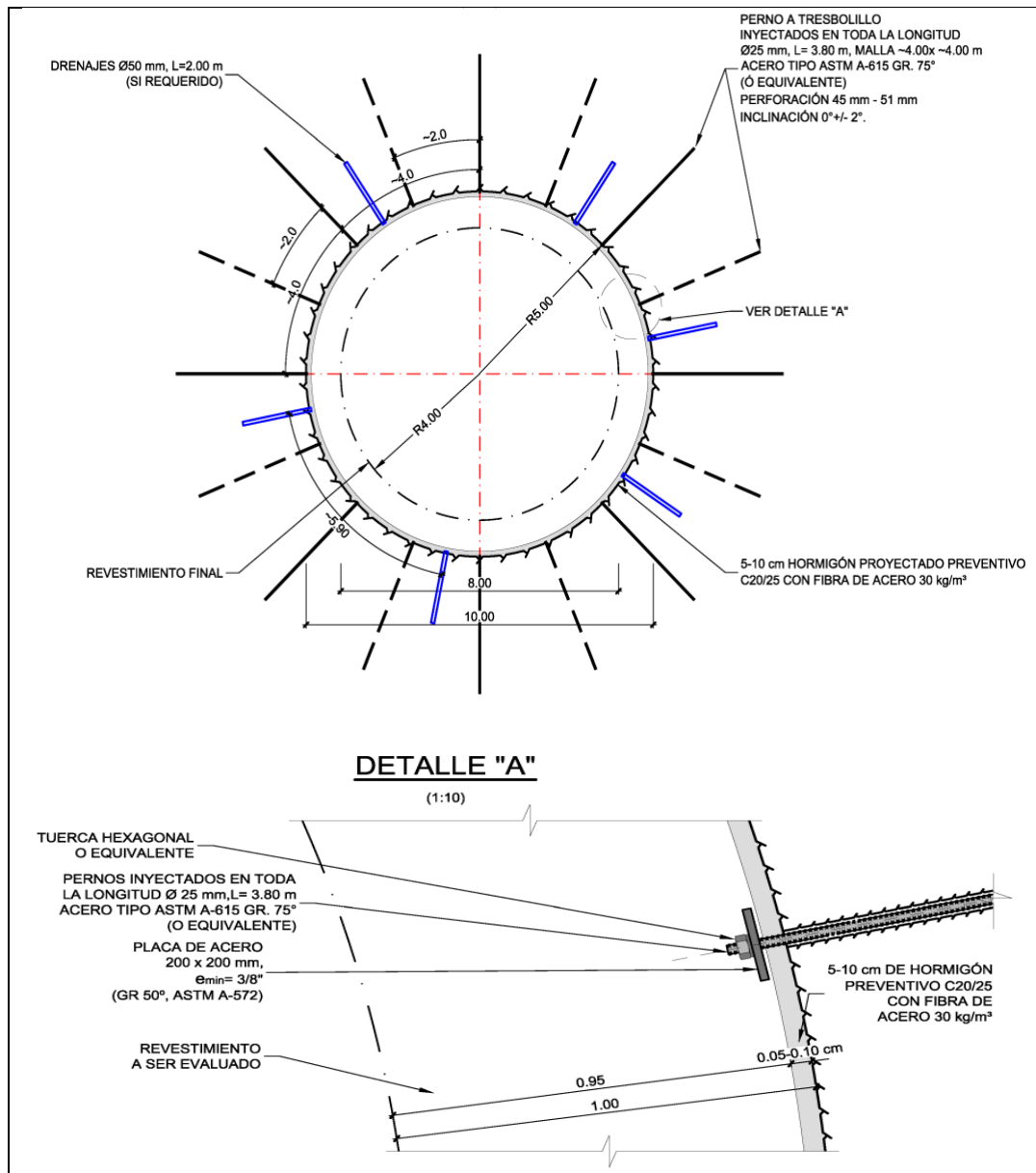
Longitud = 4.00 m.

Diámetro de taladro perforado = 45@55 mm.

**Drenajes (si era requerido, según lo evaluado in situ):**

Diámetro = 50 mm.

Longitud = 2.00 m.



**GRÁFICO 256**

**SOSTENIMIENTO TIPO "B" PROYECTADO PARA EL PIQUE DE PRESIÓN**  
(Fuente: Plano PE-LOM-5O-17050102-EXC-001-R0 – Secciones de Sostenimiento)

- **Sostenimiento tipo “C”:**

**Concreto lanzado preventivo:**

Espesor de capa de 5@10 cm.

$F'_c = 20/25$  MPa.

Fibra de acero en cantidad de 30 kg/m<sup>3</sup> de mezcla.

**Pernos:**

12 Pernos distribuidos a tresbolillo 2.50x2.50 m. instalados con resina poliéster (la cantidad podía aumentar según lo evaluado in situ).

Calidad de acero = ASTM A-615 Gr. 75.

Diámetro = 25 mm.

Longitud = 4.00 m.

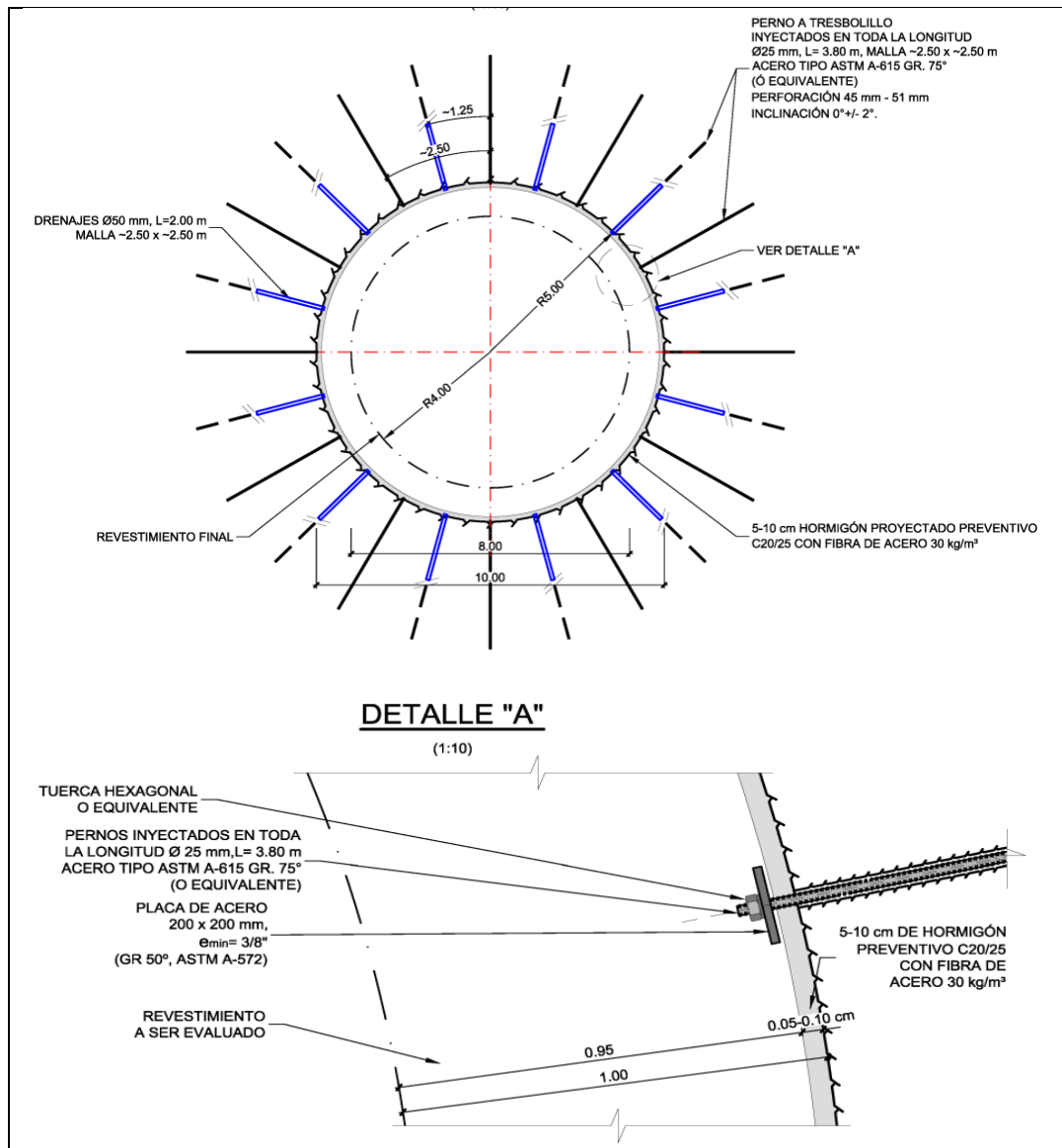
Diámetro de taladro perforado = 45@55 mm.

**Drenajes (si era requerido, según lo evaluado in situ):**

Diámetro = 50 mm.

Longitud = 2.00 m.

Distribución = 2.00 x 2.00 m.



**GRÁFICO 258**

**SOSTENIMIENTO TIPO "C" PROYECTADO PARA EL PIQUE DE PRESIÓN**  
(Fuente: Plano PE-LOM-5O-17050102-EXC-001-R0 – Secciones de Sostenimiento)



- **Sostenimiento tipo “D”:**

**Concreto lanzado preventivo:**

Espesor de capa de 10 cm.

$F'_c = 20/25$  MPa.

Fibra de acero en cantidad de 30 kg/m<sup>3</sup> de mezcla.

**Cimbras:**

Circulares metálicas.

Calidad de acero = ASTM A-572 Gr. 50.

Perfil tipo W8x35.

Radio de cimbra = 5.00 m.

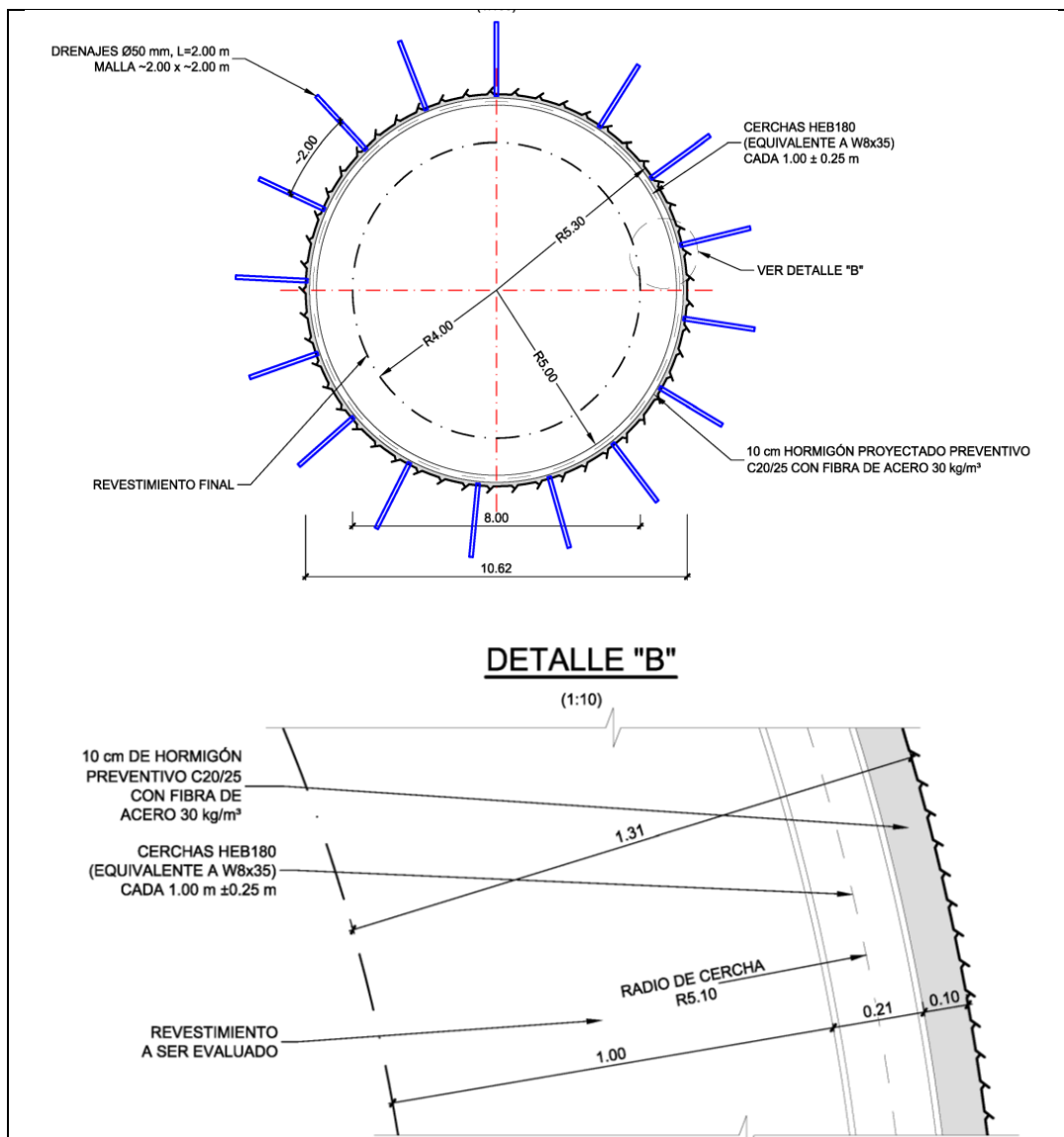
**Drenajes (si era requerido, según lo evaluado in situ):**

Diámetro = 50 mm.

Longitud = 2.00 m.

Distribución = 2.00 x 2.00 m.





**GRÁFICO 259**  
**SOSTENIMIENTO TIPO "D" PROYECTADO PARA EL PIQUE DE PRESIÓN**  
(Fuente: Plano PE-LOM-50-17050102-EXC-001-R0 – Secciones de Sostenimiento)



---

## **ANEXO 06 – PLANTILLAS DE LA EVALUACIÓN ESTADÍSTICA REALIZADA DE LAS RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN OBTENIDAS DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO QUE FORMARON PARTE DEL REVESTIMIENTO DEL PIQUE DE PRESIÓN**

---





ENSAYO DE ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO																	
DISEÑO DE MEZCLA : CDM - C - 250 - 3				TIPO DE MEZCLA : Concreto				TIPO DE CEMENTO : Tipo IP									
ESTRUCTURA : Revestimiento del Pique de Presión				250													
Nº de Muestra	Código de Muestra	Fecha de Vacado	Fecha de Envayo	Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm²)	Peso (kg)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm²)	Promedio (kg/cm²)	F <sub>c</sub> (%)	Promedio (%)	Resistencia Promedio (kg/cm²)	Promedio Comprimido (kg/cm²)	Requisito 1 - ≥ 250 kg/cm²	Requisito 2 - ≥ 215 kg/cm²
1	PP-C-9M1-3	02/07/2015	30/07/2015	28	15.20	30.20	181.46	13313	73074	402.70	400	161.10%	160%	400.09	391.28	CUMPLE	CUMPLE
2	PP-C-9M1-4	02/07/2015	30/07/2015	28	15.20	30.20	181.46	13313	72126	397.48	397	159.00%	159%	397.41	382.10	CUMPLE	CUMPLE
3	PP-C-9M2-3	02/07/2015	30/07/2015	28	15.20	30.20	181.46	13553	68075	375.15	374	150.10%	150%	374.41	362.10	CUMPLE	CUMPLE
4	PP-C-10-3	03/07/2015	31/07/2015	28	15.20	30.30	181.46	13672	68212	375.91	377	150.40%	151%	376.62	374.91	CUMPLE	CUMPLE
5	PP-C-10-4	03/07/2015	31/07/2015	28	15.20	30.30	181.46	13664	68468	377.32	375	150.90%	150%	376.13	376.13	CUMPLE	CUMPLE
6	PP-C-11M1-3	09/07/2015	06/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13160	69165	381.16	380	152.60%	152%	380.38	379.38	CUMPLE	CUMPLE
7	PP-C-11M1-4	09/07/2015	06/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13278	68881	379.59	378	150.60%	151%	377.85	379.07	CUMPLE	CUMPLE
8	PP-C-12M1-3	13/07/2015	10/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13504	60799	335.05	337	134.00%	135%	337.49	331.40	CUMPLE	CUMPLE
9	PP-C-12M1-4	13/07/2015	10/08/2015	28	15.20	30.40	181.46	13533	67867	374.01	372	149.60%	149%	372.28	349.66	CUMPLE	CUMPLE
10	PP-C-13-3	16/07/2015	13/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13726	70901	392.59	391	160.90%	160%	391.59	378.51	CUMPLE	CUMPLE
11	PP-C-13-4	16/07/2015	13/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13726	70949	390.99	390	155.40%	156%	390.36	383.75	CUMPLE	CUMPLE
12	PP-C-14-3	17/07/2015	14/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13562	68220	375.95	376	150.40%	150%	375.73	360.39	CUMPLE	CUMPLE
13	PP-C-14-4	17/07/2015	14/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13562	68220	375.95	376	150.40%	150%	375.73	360.39	CUMPLE	CUMPLE
14	PP-C-15-3	17/07/2015	14/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13562	68220	375.95	376	150.40%	150%	375.73	360.39	CUMPLE	CUMPLE
15	PP-C-15-4	17/07/2015	14/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13562	68220	375.95	376	150.40%	150%	375.73	360.39	CUMPLE	CUMPLE
16	PP-C-16-3	18/07/2015	15/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13668	60788	334.99	336	134.00%	134%	336.28	332.15	CUMPLE	CUMPLE
17	PP-C-16-4	18/07/2015	15/08/2015	28	15.20	30.40	181.46	13672	61254	377.50	376	135.00%	135%	376.50	349.90	CUMPLE	CUMPLE
18	PP-C-17-3	19/07/2015	16/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13726	70901	392.59	391	160.90%	160%	391.59	378.51	CUMPLE	CUMPLE
19	PP-C-17-4	19/07/2015	16/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13726	70949	390.99	390	155.40%	156%	390.36	383.75	CUMPLE	CUMPLE
20	PP-C-18M1-3	21/07/2015	18/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13474	62532	344.60	343	137.80%	138%	343.01	327.47	CUMPLE	CUMPLE
21	PP-C-18M1-4	21/07/2015	18/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13375	67238	370.54	370	148.20%	148%	369.89	353.52	CUMPLE	CUMPLE
22	PP-C-19M2-3	21/07/2015	18/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13561	67003	369.24	370	147.70%	148%	369.89	361.73	CUMPLE	CUMPLE
23	PP-C-20-3	22/07/2015	19/08/2015	28	15.20	30.20	181.46	13362	69933	387.47	386	159.50%	159%	386.29	373.27	CUMPLE	CUMPLE
24	PP-C-20-4	22/07/2015	19/08/2015	28	15.20	30.20	181.46	13362	69933	387.47	386	159.50%	159%	386.29	373.27	CUMPLE	CUMPLE
25	PP-C-21-3	23/07/2015	20/08/2015	28	15.20	30.50	181.46	13782	62745	345.78	344	138.30%	138%	344.08	344.67	CUMPLE	CUMPLE
26	PP-C-21-4	23/07/2015	20/08/2015	28	15.20	30.50	181.46	13679	62128	342.38	342	137.00%	137%	341.62	343.12	CUMPLE	CUMPLE
27	PP-C-23M1-3	24/07/2015	21/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13436	60979	335.64	335	136.00%	136%	335.64	332.03	CUMPLE	CUMPLE
28	PP-C-23M1-4	24/07/2015	21/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13436	60979	335.64	335	136.00%	136%	335.64	332.03	CUMPLE	CUMPLE
29	PP-C-23M2-3	24/07/2015	21/08/2015	28	15.20	30.50	181.46	13725	63884	352.06	353	130.80%	132%	353.12	339.79	CUMPLE	CUMPLE
30	PP-C-23M2-4	24/07/2015	21/08/2015	28	15.20	30.50	181.46	13725	63884	352.06	353	130.80%	132%	353.12	339.79	CUMPLE	CUMPLE
31	PP-C-25M1-3	26/07/2015	23/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13596	64993	358.17	355	143.30%	142%	355.12	363.34	CUMPLE	CUMPLE
32	PP-C-25M1-4	26/07/2015	23/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13596	64993	358.17	355	143.30%	142%	355.12	363.34	CUMPLE	CUMPLE
33	PP-C-25M2-3	26/07/2015	23/08/2015	28	15.20	30.40	181.46	13693	63560	350.27	351	140.10%	140%	350.97	338.87	CUMPLE	CUMPLE
34	PP-C-25M2-4	26/07/2015	23/08/2015	28	15.20	30.40	181.46	13693	63560	350.27	351	140.10%	140%	350.97	338.87	CUMPLE	CUMPLE
35	PP-C-27M1-3	28/07/2015	25/08/2015	28	15.20	30.50	181.46	13930	70790	390.11	388	156.00%	156%	388.01	373.89	CUMPLE	CUMPLE
36	PP-C-27M1-4	28/07/2015	25/08/2015	28	15.20	30.50	181.46	13845	70027	385.91	388	154.40%	154%	385.91	373.89	CUMPLE	CUMPLE
37	PP-C-27M2-3	28/07/2015	25/08/2015	28	15.20	30.40	181.46	13778	69833	387.47	385	159.50%	159%	386.29	373.27	CUMPLE	CUMPLE
38	PP-C-27M2-4	28/07/2015	25/08/2015	28	15.20	30.40	181.46	13778	69833	387.47	385	159.50%	159%	386.29	373.27	CUMPLE	CUMPLE
39	PP-C-29M1-3	29/07/2015	26/08/2015	28	15.20	30.40	181.46	13568	70884	390.63	392	156.30%	157%	391.98	386.69	CUMPLE	CUMPLE
40	PP-C-29M1-4	29/07/2015	26/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13711	71371	393.32	392	157.30%	157%	391.98	386.69	CUMPLE	CUMPLE
41	PP-C-31-3	31/07/2015	28/08/2015	28	15.20	30.20	181.46	13484	70144	386.55	387	154.60%	155%	387.50	390.17	CUMPLE	CUMPLE
42	PP-C-31-4	01/08/2015	29/08/2015	28	15.20	30.30	181.46	13538	70488	388.44	387	155.40%	155%	388.44	388.44	CUMPLE	CUMPLE
43	PP-C-32-3	01/08/2015	29/08/2015	28	15.20	30.50	181.46	13762	68568	377.87	382	151.10%					





GRÁFICOS DE CONTROL DEL CONCRETO: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - REVESTIMIENTO PIQUE DE PRESIÓN

PROMEDIO DE RESISTENCIAS DE 3 ENSAYOS CONSECUTIVOS

Resistencia (kg/cm2)

Fechas de ensayo a 28 días

—●— Promedio Consecutivo - 28 Días (kg/cm2) — Resistencia Especificada = 250 kg/cm2 — Promedio de resistencia obtenida = 394.72 kg/cm2

RESULTADO INDIVIDUAL DEL ENSAYO DE RESISTENCIA (PROMEDIO DE DOS CILINDROS)

Resistencia (kg/cm2)

Fechas de ensayo a 28 días

—●— Resistencia individual (kg/cm2) — Resistencia especificada = 250 kg/cm2 - - F'c - 35 = 215 kg/cm2 — Promedio de resistencia obtenida = 394.72 kg/cm2

CUMPLIMIENTO REQUISITOS DE RESISTENCIA - ACI 318 / Apartado 5.6.3.3.

Se puede observar en los **gráficos de control de la resistencia del concreto a través del tiempo** que, todas las resistencias obtenidas de las muestras tomadas en obra superan la resistencia mínima especificada.

Además de cumplir:

- **Requisito 1:**

\* Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior al  $f_c$  especificado.

PUNTOS =	224	CUMPLIMIENTO =	100 %
----------	-----	----------------	-------

- **Requisito 2:**

\*\* Cuando  $f_c$  es menor o igual a 35 MPa: Ningún resultado individual del ensayo de resistencia (promedio de dos cilindros) resulte menor que  $f_c$  por más de 3.50 Mpa.

PUNTOS =	113	CUMPLIMIENTO =	100 %
----------	-----	----------------	-------





EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LAS RESISTENCIAS A COMPRESIÓN DEL CONCRETO Y DE LA CALIDAD DEL CONTROL										TIPO DE MEZCLA :										TIPO DE CEMENTO :										Tipo IP
DISEÑO DE MEZCLA :										Concreto																				
ESTRUCTURA :										250																				
Nº de Muestra	Código de Ensayo	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Edad (días)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (cm²)	Peso (kg)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm²)	Promedio (kg/cm²)	Fc (%)	Promedio (%)	Resistencia promedio (kg/cm²)	Promedio (kg/cm²)	Requisito 1 ** ≥ 250 kg/cm²	Requisito 2 ** ≥ 233 kg/cm²	(R1 - R2)	Rango de la muestra											
1	PP-C-9M1-3	02/07/2015	30/07/2015	28	15,20	30,20	181,46	1331,3	73074	492,70	460	161,100%	160%	460,69	391,28	CUMPLE	CUMPLE	26,84	5-22											
2	PP-C-9M2-3	02/07/2015	30/07/2015	28	15,20	30,30	181,46	1368,8	67807	373,67	374	149,000%	150%	374,41	391,28	CUMPLE	CUMPLE	432,50	1-48											
	PP-C-9M3-3				15,20	30,20	181,46	1355,3	68075	375,15		150,000%			374,41	CUMPLE	CUMPLE	327,61	1-41											
3	PP-C-10-3	03/07/2015	31/07/2015	28	15,20	30,30	181,46	1362,22	68232	377,32	377	150,400%	151%	376,63	382,10	CUMPLE	CUMPLE	376,13	1-41											
	PP-C-10-4				15,20	30,30	181,46	1366,8	68468	377,32		150,900%			376,63	CUMPLE	CUMPLE	376,13	1-41											
4	PP-C-11M1-3	09/07/2015	06/08/2015	28	15,20	30,30	181,46	1316,0	69165	381,16	380	152,500%	153%	380,38	378,13	CUMPLE	CUMPLE	205,64	1-97											
	PP-C-11M2-3				15,20	30,30	181,46	132,78	68881	379,59		151,800%			378,07	CUMPLE	CUMPLE	205,64	1-97											
5	PP-C-11M2-3	09/07/2015	06/08/2015	28	15,20	30,30	181,46	1300,5	68814	376,47	378	151,700%	151%	377,89	379,07	CUMPLE	CUMPLE	284,60	2-76											
	PP-C-12M1-3				15,20	30,30	181,46	1317,1	68482	379,92		151,800%			377,89	CUMPLE	CUMPLE	327,27	4-87											
6	PP-C-12M1-3	13/07/2015	10/08/2015	28	15,20	30,30	181,46	1300,4	69759	385,00	387	156,000%	155%	387,49	383,20	CUMPLE	CUMPLE	327,27	4-87											
	PP-C-12M2-3				15,20	30,40	181,46	1353,3	67235	370,54		148,200%			385,68	CUMPLE	CUMPLE	303,55	3-47											
7	PP-C-14-3	13/07/2015	10/08/2015	28	15,20	30,40	181,46	1372,6	70949	390,99	390	156,400%	156%	390,36	389,73	CUMPLE	CUMPLE	503,55	3-47											
	PP-C-14-4				15,20	30,20	181,46	1363,9	70720	389,73		155,900%			389,73	CUMPLE	CUMPLE	19,01	1-26											
8	PP-C-15-3	17/07/2015	14/08/2015	28	15,20	30,20	181,46	1356,2	68220	375,95	376	150,400%	150%	376,73	380,39	CUMPLE	CUMPLE	360,62	0-40											
	PP-C-15-4				15,20	30,30	181,46	1356,2	68220	375,95		150,400%			376,73	CUMPLE	CUMPLE	360,62	0-40											
9	PP-C-16-3	17/07/2015	14/08/2015	28	15,20	30,30	181,46	1356,2	68220	375,95	376	150,400%	150%	376,73	380,39	CUMPLE	CUMPLE	360,62	0-40											
	PP-C-16-4				15,20	30,30	181,46	1356,2	68220	375,95		150,400%			376,73	CUMPLE	CUMPLE	360,62	0-40											
10	PP-C-16-4	18/07/2015	15/08/2015	28	15,20	30,40	181,46	1372,6	70949	390,99	390	156,400%	156%	390,36	389,73	CUMPLE	CUMPLE	341,5,23	2-57											
	PP-C-17-3				15,20	30,20	181,46	1328,0	70001	388,77		154,300%			388,41	CUMPLE	CUMPLE	69,06	1-27											
11	PP-C-17-4	19/07/2015	16/08/2015	28	15,20	30,30	181,46	1322,4	70233	387,04	388	154,800%	153%	386,41	379,13	CUMPLE	CUMPLE	264,41	3-40											
	PP-C-19M1-3				15,20	30,30	181,46	1347,4	69579	388,64		157,400%			387,82	CUMPLE	CUMPLE	2471,08	0-81											
12	PP-C-19M1-3	21/07/2015	18/08/2015	28	15,20	30,30	181,46	1347,4	69579	388,64	388	157,400%	156%	387,82	379,13	CUMPLE	CUMPLE	2471,08	0-81											
	PP-C-19M2-3				15,20	30,20	181,46	1317,5	67728	370,54		148,200%			385,68	CUMPLE	CUMPLE	616,53	1-30											
13	PP-C-19M2-3	21/07/2015	18/08/2015	28	15,20	30,30	181,46	1359,1	67003	369,24	370	147,700%	148%	369,69	369,23	CUMPLE	CUMPLE	616,53	1-30											
	PP-C-20-3				15,20	30,20	181,46	1336,2	67970	347,02		138,800%			369,69	CUMPLE	CUMPLE	616,53	1-30											
14	PP-C-20-4	22/07/2015	19/08/2015	28	15,20	30,40	181,46	1372,6	70949	390,99	390	156,400%	156%	390,36	389,73	CUMPLE	CUMPLE	2410,81	2-81											
	PP-C-21-3				15,20	30,50	181,46	1372,6	70949	390,99		156,400%			390,36	CUMPLE	CUMPLE	2410,81	2-81											
15	PP-C-21-3	23/07/2015	20/08/2015	28	15,20	30,50	181,46	1372,6	70949	390,99	390	156,400%	156%	390,36	389,73	CUMPLE	CUMPLE	2410,81	2-81											
	PP-C-23M1-3				15,20	30,30	181,46	1360,8	62669	345,41		138,200%			345,41	CUMPLE	CUMPLE	2410,81	2-81											
16	PP-C-23M1-3	24/07/2015	21/08/2015	28	15,20	30,30	181,46	1360,8	62669	345,41	345	138,200%	138%	345,01	345,94	CUMPLE	CUMPLE	2410,81	2-81											
	PP-C-23M2-3				15,20	30,30	181,46	1360,8	62669	345,41		138,200%			345,01	CUMPLE	CUMPLE	2410,81	2-81											
17	PP-C-23M2-3	24/07/2015	21/08/2015	28	15,20	30,30	181,46	1360,8	62669	345,41	345	138,200%	138%	345,01	345,94	CUMPLE	CUMPLE	2410,81	2-81											
	PP-C-25M1-3				15,20	30,50	181,46	1372,6	70949	390,99		156,400%			390,36	CUMPLE	CUMPLE	2410,81	2-81											
18	PP-C-25M1-3	26/07/2015	23/08/2015	28	15,20	30,50	181,46	1372,6	70949	390,99	390	156,400%	156%	390,36	389,73	CUMPLE	CUMPLE	2410,81	2-81											
	PP-C-25M2-3				15,20	30,50	181,46	1372,6	70949	390,99		156,400%			390,36	CUMPLE	CUMPLE	2410,81	2-81											
19	PP-C-25M2-3	26/07/2015	23/08/2015	28	15,20	30,50	181,46	1372,6	70949	390,99	390	156,400%	156%	390,36	389,73	CUMPLE	CUMPLE	2410,81	2-81											
	PP-C-27M1-3				15,20	30,50	181,46	1372,6	70949	390,99		156,400%			390,36	CUMPLE	CUMPLE	2410,81	2-81											
20	PP-C-27M1-3	26/07/2015	23/08/2015	28	15,20	30,50	181,46	1372,6	70949	390,99	390	156,400%	156%	390,36	389,73	CUMPLE	CUMPLE	2410,81	2-81											
	PP-C-27M2-3				15,20	30,40	181,46	1372,6	70949	390,99		156,400%			390,36	CUMPLE	CUMPLE	2410,81	2-81											
21	PP-C-27M2-3	26/07/2015	23/08/2015	28	15,20	30,40	181,46	1372,6	70949	390,99	390	156,400%	156%	390,36	389,73	CUMPLE	CUMPLE	2410,81	2-81											
	PP-C-29M1-3				15,20	30,40	181,46	1372,6	70949	390,99		156,400%			390,36	CUMPLE	CUMPLE	2410,81	2-81											
22	PP-C-29M1-3	26/07/2015	23/08/2015	28	15,20	30,40	181,46	1372,6	70949	390,99	390	156,400%	156%	390,36	389,73	CUMPLE	CUMPLE	2410,81	2-81											
	PP-C-29M2-3				15,20	30,30	181,46	1371,3	71371	393,32		392			157,300%	157%	391,98	390,17	CUMPLE	CUMPLE	7,51	2-69								
23	PP-C-29M2-3	26/07/2015	23/08/2015	28	15,20	30,30	181,46	1371,3	71371	393,32	157,300%		391,98	CUMPLE	CUMPLE			7,51	2-69											
24	PP-C-31-3	31/07/2015	28/08/2015	28	15,20	30,20	181,46	1348,4	70144	386,55	387	154,600%	155%	387,50	386,47	CUMPLE	CUMPLE	52,13	1-69											
	PP-C-31-4				15,20	30,30	181,46	1372,6	70949	390,99		156,400%			387,50	CUMPLE	CUMPLE	52,13	1-69											
25	PP-C-31-4	01/08/2015	29/08/2015	28	15,20	30,30	181,46	1372,6	70949	390,99	390	156,400%	156%	390,36	389,73	CUMPLE	CUMPLE	52,13	1-69											
	PP-C-34-3				15,20	30,40	181,46	1372,6	70949	390,99		156,400%			390,36	CUMPLE	CUMPLE	52,13	1-69											
26	PP-C-34-3	02/08/2015	30/08/2015	28	15,20	30,40	181,46	1372,6	70949	390,99	390	156,400%	156%	390,36	389,73	CUMPLE	CUMPLE	52,13	1-69											
	PP-C-36M1-3				15,20	30,40	181,46	1372,6	70949	390,99		156,400%			390,36	CUMPLE	CUMPLE	52,13	1-69											
27	PP-C-36M1-3	04/08/2015	01/09/2015	28	15,20	30,40	181,46	1372,6	70949	390,99	390	156,400%	156%	390,36	389,73	CUMPLE	CUMPLE	52,13	1-69											
	PP-C-36M2-3				15,20	30,30	181,46	1372,6	70949	390,99		156,400%			390,36	CUMPLE	CUMPLE	52,13	1-69											
28	PP-C-36M2-3	04/08/2015	01/09/2015	28	15,20	30,30	181,46	1372,6	70949	390,99	390	156,400%	156%	390,36	389,73	CUMPLE	CUMPLE	52,13	1-69											
	PP-C-38-3				15,20	30,30	181,46	1372,6	70949	390,99		156,400%			390,36	CUMPLE	CUMPLE	52,13	1-69											
29	PP-C-38-3	05/08/2015	02/09/2015	28	15,20	30,30	181,46	1372,6	70949	390,99	390	156,400%	156%	390,36	389,73	CUMPLE	CUMPLE	52,13	1-69											
	PP-C-40-3				15,20	30,30	181,46	1372,6	70949	390,99		156,400%			390,36	CUMPLE	CUMPLE	52,13	1-69											
30	PP-C-40-3	06/08/2015	03/09/2015	28	15,20	30,40	181,46	1372,6	70949	390,99	390	156,400%	156%	390,36	389,73	CUMPLE	CUMPLE	52,13	1-69											
	PP-C-42M1-3				15,20	30,40	181,46	1372,6	70949	390,99		156,400%			390,36	CUMPLE	CUMPLE	52,13	1-69											
31	PP-C-42M1-3	07/08/2015	04/09/2015	28	15,20	30,40	181,46	1372,6	70949	390,99	390	156,400%	156%	390,36	389,73	CUMPLE	CUMPLE	52,13	1-69											
	PP-C-42M2-3				15,20	30,40	181,46	1372,6	70949	390,99		156,400%			390,36	CUMPLE	CUMPLE	52,13	1-69											
32																														





---

## **ANEXO 07 – HOJAS TÉCNICAS DE ALGUNOS PRODUCTOS EMPLEADOS EN OBRA**

---



## ETAPA DE SOSTENIMIENTO

BUILDING TRUST



## HOJA TÉCNICA

# Sigunit® L-60 AF

Acelerante líquido Libre de álcalis para concreto proyectado de alto rendimiento

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sigunit® L-60 AF es un acelerante líquido libre de álcalis de alto desempeño desarrollado en base a sustancias inorgánicas especiales, para ser utilizado en concreto proyectado tanto por vía húmeda como por vía seca.

No contiene cloruros.

### USOS

Sigunit® L-60 AF es un acelerante para uso en el proceso de proyección por vía seca y vía húmeda en las siguientes aplicaciones principales:

- Concretos y morteros proyectados en túneles, minas, muros de contención, canales, estanques y reparaciones donde se requiera un rápido fraguado y altas resistencias iniciales.
- Concreto proyectado de alta calidad en revestimientos y trabajos de construcción en general.
- Estabilización de taludes y rocas.

### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Libre de álcalis.
- Rápido desarrollo del fraguado y de la resistencia inicial
- Mayor resistencia a largo plazo.
- No contamina las aguas superficiales o subterráneas debido a que está libre de álcalis.
- Aumenta la adherencia del concreto proyectado a la roca y concreto, facilitando la aplicación sobre cabeza.
- Libre de cloruros, no ataca el acero de refuerzo.
- Permite aplicar capas sucesivas rápidamente.
- Disminuye el rebote.

### DATOS BÁSICOS

#### FORMA

#### ASPECTO

Líquido

#### COLORES

Beige Lechoso

#### PRESENTACIÓN

- Granel x 1 L
- Cilindro x 200 L
- Dispenser x 1000 L

Hoja Técnica  
Sigunit® L-60 AF  
19.11.14, Edición 6

<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL</b> 6 meses bajo techo en su envase original cerrado a temperaturas entre 7 °C y 30 °C.
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>DENSIDAD</b> 1,35 ± 0,01 kg/L
<b>INFORMACIÓN DEL SISTEMA</b>	
<b>DETALLES DE APLICACIÓN</b>	<b>CONSUMO / DOSIS</b> Se recomienda utilizar dosis de 4 a 8 % del peso del cemento. Es posible utilizar mayores o menores dosis realizando ensayos previos.
<b>MÉTODO DE APLICACIÓN</b>	<b>MODO DE EMPLEO</b> La dosis de Sigunit® L-60 AF más efectiva se obtiene a través de ensayos previos en terreno en las condiciones de faena de 90 al 150 cm <sup>3</sup> por kilogramo de cemento. Sigunit® L-60 AF se agrega junto con el aire comprimido en el sistema de mezcla húmeda o diluido en el agua en el sistema de mezcla seca. Consulte con el fabricante de la máquina proyectora o con nuestro Departamento Técnico respecto al dosificador más adecuado. Se recomienda agitar el producto antes de usar. <b>IMPORTANTE</b> El efecto del acelerante depende del contenido, edad y tipo de cemento utilizado, así como el sustrato, temperatura, sistema de proyección y espesor de capa. La razón a/c del concreto en el proceso de proyección por vía húmeda y el agua agregada en la boquilla en el proceso vía seca son parámetros que influyen el efecto acelerador del Sigunit® L-60 AF. A temperatura más bajas se requiere mayor dosis de aditivo para una misma aceleración de la resistencia inicial y fraguados. En el proceso vía húmeda es recomendable una relación a/c <0.50. Es recomendable acompañar la mezcla con aditivos Sikament® o Sika® ViscoCrete®.
<b>INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD</b>	
<b>PRECAUCIONES DE MANIPULACIÓN</b>	Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma naturales o sintéticos y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.
<b>OBSERVACIONES</b>	La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: <a href="http://www.sika.com.pe">www.sika.com.pe</a>

Hoja Técnica  
Sigunit® L-60 AF  
19.11.14, Edición 6

2/3

BUILDING TRUST



#### NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe).

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición Nº 5  
la misma que deberá ser destruida”**

#### PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sigunit® L-60 AF :

##### 1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



##### 2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL



Sika Perú S.A.  
Concrete  
Centro Industrial "Las Praderas  
de Lurín" s/n MZ B, Lotes 5 y  
6, Lurín  
Lima  
Perú  
[www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

Hoja Técnica  
Sigunit® L-60 AF  
19.11.14, Edición 6

Versión elaborada por: Sika Perú  
S.A.  
CG Departamento Técnico  
Telf: 618-6060  
Fax: 618-6070  
Mail: [informacion@pe.sika.com](mailto:informacion@pe.sika.com)



© 2014 Sika Perú S.A.



# Dramix®

**BEKAERT**

better together

## Ficha Técnica



### DRAMIX® 3D



Dramix® 3D es la referencia en refuerzos con fibra de acero. Gracias a su combinación de rendimiento, durabilidad y fácil manejo, 3D es una solución eficiente para un gran número de utilidades y le permite ahorrar tiempo y dinero.

- > anclaje original
- > resistencia a la tracción

**Dramix® 3D es una solución rentable para**

- > pavimento
- > túneles
- > prefabricados
- > viviendas

Bekaert le ofrece todo el apoyo que necesita para su proyecto. Le ayudamos a elegir el tipo de fibra que más le conviene, la dosificación necesaria y el tipo de hormigón correcto.

Póngase en contacto con su asesor local.

Visite [www.bekaert.com/dosingdramix](http://www.bekaert.com/dosingdramix) para conocer nuestras recomendaciones sobre manipulación, dosificación y mezcla.

Reservado el derecho a modificaciones.  
Todos los datos describen nuestros productos con carácter meramente general. Para una información más detallada, solicite las especificaciones técnicas de los productos.

### RENDIMIENTO

#### Propiedades del material

**Resistencia a la tracción:**  
 $R_{m, nom} : 1.345 \text{ N/mm}^2$   
Tolerancias:  $\pm 7,5\%$  promedio  
**Módulo de Young:**  $\pm 210.000 \text{ N/mm}^2$

#### Geometría

Gama de fibras	3D	
Longitud (l)	35 mm	
Diámetro (d)	0,55 mm	
Proporción (l/d)	65	

#### Red de fibra

8,0 km por m<sup>3</sup> (para 15 kg/m<sup>3</sup>)  
14.531 Fibras/kg

#### Gama Dramix®

	5R	4R	3D
Resistencia a la tracción			
Ductilidad del alambre			
Fuerza de anclaje			

### CERTIFICACIONES DEL PRODUCTO



Dramix® dispone del certificado para uso estructural conforme a la EN 14889-1 (sistema '1'). Si lo desea, puede solicitar información más detallada.

### CERTIFICACIÓN DE SISTEMAS



Todas las plantas industriales Dramix® cuentan con la certificación ISO 9001 e ISO 14001.

### EMBALAJE



SACOS 20 kg

BIG BAG 1100 kg

### ALMACENAJE



71.19.08 - 10/2012

	<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS PERNOS ESTABILIZADORES</b>	<b>PRODAC DIVISIÓN MINERA</b> Av. La Encalada 1388, Of. 903, Surco - Lima T: 51(1) 613 6670 A. 4032 <a href="mailto:Ventas.Mineras@prodimin.com.pe">Ventas.Mineras@prodimin.com.pe</a>
---	--	--

### 1. DEFINICIÓN

El sistema de **PERNO ESTABILIZADOR PRODIMIN**, es un sistema de estabilización especialmente diseñado para reforzar y preservar la resistencia natural que presentan los estratos rocosos o suelos.

### 2. DESCRIPCIÓN

Consiste en una barra de acero con resaltes en forma de hilo helicoidal o barra rosca de amplio paso, que actúa en colaboración con un sistema de fijación formado por una placa de acero perforada con domo piramidal y una tuerca de fundición nodular.



### 3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

#### 3.1. Composición Química

El perno estabilizador se produce con aceros al carbono, pudiendo tener éstos pequeñas adiciones de elementos microaleantes tales como niobio y vanadio (Nb, V) u otros para los grados de mayor resistencia.

#### 3.2. Dimensiones



Diámetro (mm)	Diámetro Nominal N (mm)	Diámetro Exterior H (mm)	Carga Fluencia (KN)	Carga Máxima (KN)	Peso Nominal (Kg/m)
<b>19 (#6)</b>	19.00	21.40	146	195	2.19
<b>22 (#7)</b>	20.00	24.60	200	270	2.91
<b>25 (#8)</b>	25.00	27.80	263	350	3.70

El Peso Nominal es sólo referencial.

#### 3.3. Propiedades Mecánicas

Producto	PE ASTM A 615M Gr.75
<b>Fluencia Mínimo (kg/mm<sup>2</sup>)</b>	53.02 (520 MPa)
<b>Ruptura Mínimo (kg/mm<sup>2</sup>)</b>	70.36 (690 MPa)
<b>Elongación Mínima en 200 mm.</b>	7 %

Propiedades Mecánicas con respecto a las áreas nominales.

	<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS PERNOS ESTABILIZADORES</b>	<b>PRODAC DIVISIÓN MINERA</b> Av. La Encalada 1388, Of. 903, Surco - Lima T: 51(1) 613 6670 A. 4032 <a href="mailto:Ventas.Mineras@prodimin.com.pe">Ventas.Mineras@prodimin.com.pe</a>
---	--	--

### 3.4. CERTIFICADO DE CALIDAD

A solicitud del cliente, se emite un Certificado de Calidad para cada lote de productos.

## 4. TUERCA DE FIJACIÓN

### 4.1. Descripción y Usos

Es una tuerca de fundición nodular o tuerca de acero forjado con domo semiesférico que sirve como complemento al Perno Estabilizador. Se utiliza como accesorio de ajuste de la placa contra el macizo rocoso, cuando es enrocado al perno. Se comercializa en los diámetros nominales de 19, 22 y 25 mm. Norma ASTM A536.



## 5. PLANCHUELA DE SUJECIÓN

### 5.1. Descripción y Usos



Placa de sujeción del Perno Estabilizador con dimensiones de 4.5 x 200 mm x 200 mm. en calidad de ASTM A36 tipo Volcán. Se comercializa en los diámetros nominales de 19, 22 y 25 mm.

Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Tipo ASTM	Diámetro Orificio (mm)	Lado (mm)
19	4.50	A36	32 +/- 1.0	200 +/- 5.0
22			38 +/- 1.0	
25			44 +/- 1.0	

## 6. ACCESORIOS

### 6.1. Adaptador

El adaptador del Perno Estabilizador se utiliza para realizar la instalación dentro del taladro en el macizo rocoso, este se coloca en la bocina de la máquina perforadora y se procede a rotar hasta anclar con el mortero seleccionado.





Capacitación y Servicio Técnico Minero

Av. Alfredo Mendiola 6241 Urb. Santa Luisa I Etapa Los Olivos

Telefonos - Fax 552 3397 / 552 3398

Correo. castem@castem.com.pe

Web. www.castem.com.pe

### CARTUCHOS DE RESINA

El cartucho de resina GROUND LOCK es un sistema para la fijación de pernos de anclaje compuesto por dos componentes: una pasta de resina poliéster y catalizador (ubicado dentro del cartucho) debidamente separados. La reacción química se produce cuando el perno gire a través de los cartuchos insertados dentro del agujero del taladro mezclando los componentes, e iniciando el curado (fraguado). Una vez curada o mezclada, la resina alcanza su resistencia compresiva mas potente que de la roca que la rodea



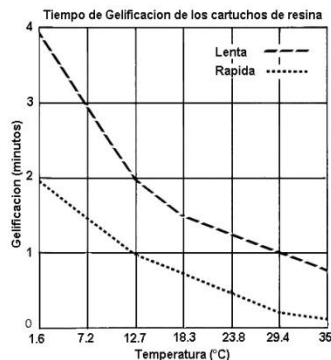
#### ESPECIFICACIONES:

DIMENSIONES	- 28mm x 305 mm
TIPOS	- <b>RÁPIDA</b> ( 1-3 minutos, color naranja) - <b>LENTA</b> ( 6 minutos, color blanco)
EMBALAJE	- 50 UNIDADES X CAJA

#### ALMACENAJE:

VENCIMIENTO	- 6 MESES (después de su fabricación)
APILAMIENTO	- NO APILAR MAS DE 4 CAJAS
PROTECCIÓN	- NO EXPONER DIRECTAMENTE AL SOL
ALMACENAR	- AREA FRESCA Y VENTILADA DE 12° - 20°

#### 1. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA GELIFICACION DE LA RESINA :

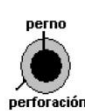


#### NOTA:

- La gelificación es el intervalo de tiempo requerido por la resina para cambiar de un estado líquido viscoso a un gel.
- Corresponde a una primera etapa de la fragua integral o curado de los cartuchos de resina que se consolidará a medida que transcurra el tiempo.
- Para efectos de cálculo, el tiempo de fragua integral de la resina refiere un tiempo aproximadamente igual al cuatro veces el tiempo de la gelificación.
- La gelificación de los cartuchos de resina es más rápida cuando las temperaturas exceden los 12.7° C y es más lenta cuando las temperaturas son menores a 12.7 ° C.



## 2. EFECTO DEL DIÁMETRO DE PERFORACIÓN EN LA FRAGUA DE LA RESINA:



Diámetro de perforación recomendado =  $\phi$  de la barra + 10 - 13mm:

**Pernos helicoidales  $\varnothing 22\text{mm}$  -----Perforaciones 32 – 36 mm, ideal 32mm**

Pernos helicoidales, corrugados  $\varnothing 19\text{mm}$  -----Perforaciones 32mm

Para mejorar la acción encapsulante de la resina y reducir su tiempo de fragua, es necesario un diámetro de perforación adecuado. Cuando el diámetro de perforación excede 13 mm del diámetro del perno, el tiempo de fragua de la resina aumenta y se reduce su resistencia final.

Se recomienda utilizar un adaptador para la instalación del perno a fin de darle una adecuada rotación.



## 3. EFECTO DEL TIEMPO DE ROTACIÓN EN LA FRAGUA DE LA RESINA:

Una rotación adecuada del perno reduce el tiempo de fragua de la resina, recomendamos un tiempo de 25 - 30 segundos a máxima rotación para el cartucho de resina. Para reducir el tiempo de fragua en situaciones de bajas temperaturas ( $< 10^{\circ}\text{C}$ ) se puede aumentar el tiempo de la rotación hasta 35 segundos.

**Nota: contabilizar los segundos de rotación cuando el perno llegue al fondo del taladro.**

## 4. INSTALACIÓN DE PERNOS DEFORMADOS CON CARTUCHOS DE RESINA:

- Insertar un mínimo de dos cartuchos de resina rápida en el fondo de la perforación seguido con resina lenta o cartuchos de cemento hasta llenar la perforación. **Longitud de la perforación = Longitud del perno - 15cm.**
- Apisonar bien los cartuchos de resina en el fondo de la perforación, empleando un atacador de madera.
- Insertar y girar el perno a máxima rotación por 25 - 30 segundos, utilizando un adecuado adaptador.
- Después de haber concluido el tiempo de rotación del perno, este debe quedarse en su colocación sin movimiento por 1 minuto.** No olvidar que los componentes de la resina después de haber sido mezclados inicia su gelificación ( fragua inicial ) para consolidar la adherencia entre el perno, resina y la roca.

web: <http://www.castem.com.pe> e\_mail: [castem@castem.com.pe](mailto:castem@castem.com.pe)



BUILDING TRUST



## HOJA TÉCNICA

# Sika® ViscoCrete® SC-50

Aditivo súper-plastificante de alto desempeño y retenedor de trabajabilidad para concreto.

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® ViscoCrete® SC-50 es un aditivo para concreto lanzado, concreto convencional y mortero específicamente desarrollado para incrementar el tiempo de trabajabilidad. Está diseñado para producir concretos que necesitan mantener la fluidez por varias horas.

No contiene cloruros.

#### USOS

Sika® ViscoCrete® SC-50 puede usarse para:

- Transporte del concreto y mortero a lo largo de grandes distancias.
- Procesos constructivos que requieran mucho tiempo para la colocación y compactación del concreto.
- Para concretos y morteros a suministrarse en obras ubicadas en lugares remotos o de elevado congestionamiento de tránsito.
- Transporte y colocación del concreto y mortero en condiciones medio ambiental es muy rigurosas, baja humedad relativa, muy alta velocidad de viento y temperaturas extremas en el concreto.
- Para elevar la permanencia del concreto y mortero en tuberías y cañerías durante el bombeo.
- Con el uso de cementos de elevada reactividad inicial, como por ejemplo ricos en aluminato tricálcico (C3A), de elevada finura o de alta resistencia.

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

El Sika® ViscoCrete® SC-50 es un aditivo que basa su accionar en una combinación de efectos: eléctricos, de adsorción y de repulsión estérica, de tal manera que las partículas sólidas son efectivamente dispersadas y un alto nivel de fluidificación puede mantenerse en el tiempo con menor contenido de agua.

- Es un reductor de agua de alto rango por lo que no es necesario utilizar fluidificantes adicionales.
- El uso de Sika ViscoCrete® SC-50 permite la producción de concretos y morteros de alto desempeño.
- Efectividad en concretos y morteros con un amplio rango de relaciones agua/cemento (a/c) y temperaturas.
- Provee concretos y morteros de mayor estabilidad y tiempo de trabajabilidad que aquellos elaborados con dispersantes y reductores de agua convencionales.

Hoja Técnica  
Sika® ViscoCrete® SC-50  
01.12.14, Edición 1



	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Compatibilidad con otros aditivos Sika.</li><li>▪ Retiene la trabajabilidad por más tiempo manteniendo el desarrollo de las resistencias iniciales.</li><li>▪ Se puede aplicar a cementos de alta reactividad, los cuales pueden conducir a una elevada rigidez inicial.</li><li>▪ No es necesario recurrir a un acelerante para activar la hidratación ya que no modifica sustancialmente el desarrollo del fraguado (una vez que pasa el efecto de retención de trabajabilidad).</li></ul>
<b>NORMAS</b>	<b>ESTÁNDARES</b> Cumple con la Norma ASTM C 494 Tipo F y ASTM C 1017.
<b>DATOS BÁSICOS</b>	
<b>FORMA</b>	<b>COLORES</b> Gris a gris oscuro <b>PRESENTACIÓN</b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Cilindro x 200 L</li><li>▪ Dispenser x 1,000 L</li><li>▪ Granel x 1 L</li></ul>
<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL</b> 1 año en su envase original bien cerrado y bajo techo.
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>DENSIDAD</b> 1,10 +/- 0,01 Kg/L
<b>Información del Sistema</b>	
<b>DETALLES DE APLICACIÓN</b>	<b>CONSUMO / DOSIS</b> Para aplicaciones típicas 0.5% al 1.8% del peso del material cementante.
<b>MÉTODO DE APLICACIÓN</b>	<b>MODO DE EMPLEO</b> Sika® ViscoCrete® SC-50 se añade en el agua de mezcla o sobre la masa del concreto. Para asegurar la máxima eficacia se recomienda ampliar el tiempo de mezclado medio minuto más por cada metro cúbico de concreto. Sika® ViscoCrete® SC-50 puede usarse en sinergia con otros aditivos Sika, se recomienda apoyarse en el equipo técnico Sika. No debe agregarse al cemento seco. <b>PRECAUCIONES</b> Limpie todas las herramientas y equipos de aplicación con agua inmediatamente después de su uso. Los datos técnicos indicados en esta hoja técnica están basados en ensayos de laboratorio. Los datos reales pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.
<b>BASES</b>	Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.
<b>RESTRICCIONES LOCALES</b>	Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto.

Hoja Técnica  
Sika® ViscoCrete® SC-50  
01.12.14, Edición 1

2/3

BUILDING TRUST



#### INFORMACIÓN DE SEGURIDAD E HIGIENE

Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.

#### NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe).

#### PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sika® ViscoCrete® SC-50 :

##### 1.- SIKa PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



##### 2.- SIKa CIUDAD VIRTUAL



Sika Perú S.A.  
Concrete  
Centro Industrial "Las Praderas"  
de Lurín S/N - Mz "B" Lote 5 y  
6, Lurín  
Lima  
Perú  
[www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

Hoja Técnica  
Sika® ViscoCrete® SC-50  
01.12.14, Edición 1

Versión elaborada por: Sika Perú S.A.  
CG, Departamento Técnico  
Telf: 618-6060  
Fax: 618-6070  
Mail: [informacion@pe.sika.com](mailto:informacion@pe.sika.com)



© 2014 Sika Perú S.A.



## ETAPA DE REVESTIMIENTO

BUILDING TRUST



## HOJA TÉCNICA

# SikaRapid®-1

Acelerante de Resistencias Iniciales Libre de Cloruros.

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es un aditivo líquido, acelerante de resistencias iniciales libre de cloruros para concretos y morteros. Acelera el desarrollo de las resistencias mecánicas iniciales aumentando las resistencias finales. SikaRapid®-1 cumple los requisitos de un aditivo acelerado de endurecimiento, sin efectos secundarios no deseados

#### USOS

- Concreto para rápida puesta en servicio.
- Concreto curado al vapor.
- Concreto en tiempo frío.
- Concreto prefabricado.
- Desencofrado rápido.

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Acelera el proceso de endurecimiento.
- Alta resistencia temprana a temperaturas entre 5 °C y 30 °C en concreto.
- No induce a corrosión de armaduras.
- Compatible con los productos Plastiment®, Sikament®, Sika®ViscoCrete.
- Permite tiempo suficiente para la colocación del concreto.
- Estable a temperaturas entre -5 °C y 40 °C.
- No tóxico para su manipulación ni para el ambiente.

### DATOS BÁSICOS

#### FORMA

#### COLORES

Marrón claro a oscuro

#### ASPECTO:

Líquido

#### PRESENTACIÓN

Paquete de 4 envases PET x 4 Litros

Cilindro x 180 Litros

#### ALMACENAMIENTO

#### CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL

Al menos 1 año en sus envases originales bien cerrados y no deteriorados, al resguardo del sol y las heladas.

Hoja Técnica  
SikaRapid®-1  
11.01.18, Edición 11



<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL</b> 6 meses bajo techo en su envase original cerrado a temperaturas entre 7 °C y 30 °C.
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>DENSIDAD</b> 1,35 ± 0,01 kg/L
<b>INFORMACIÓN DEL SISTEMA</b>	
<b>DETALLES DE APLICACIÓN</b>	<b>CONSUMO / DOSIS</b> Se recomienda utilizar dosis de 4 a 8 % del peso del cemento. Es posible utilizar mayores o menores dosis realizando ensayos previos.
<b>MÉTODO DE APLICACIÓN</b>	<b>MODO DE EMPLEO</b> La dosis de Sigunit® L-60 AF más efectiva se obtiene a través de ensayos previos en terreno en las condiciones de faena de 90 al 150 cm <sup>3</sup> por kilogramo de cemento. Sigunit® L-60 AF se agrega junto con el aire comprimido en el sistema de mezcla húmeda o diluido en el agua en el sistema de mezcla seca. Consulte con el fabricante de la máquina proyectora o con nuestro Departamento Técnico respecto al dosificador más adecuado. Se recomienda agitar el producto antes de usar. <b>IMPORTANTE</b> El efecto del acelerante depende del contenido, edad y tipo de cemento utilizado, así como el sustrato, temperatura, sistema de proyección y espesor de capa. La razón a/c del concreto en el proceso de proyección por vía húmeda y el agua agregada en la boquilla en el proceso vía seca son parámetros que influyen el efecto acelerador del Sigunit® L-60 AF. A temperatura más bajas se requiere mayor dosis de aditivo para una misma aceleración de la resistencia inicial y fraguados. En el proceso vía húmeda es recomendable una relación a/c <0.50. Es recomendable acompañar la mezcla con aditivos Sikament® o Sika® ViscoCrete®.
<b>INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD</b>	
<b>PRECAUCIONES DE MANIPULACIÓN</b>	Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma naturales o sintéticos y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.
<b>OBSERVACIONES</b>	La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: <a href="http://www.sika.com.pe">www.sika.com.pe</a>

Hoja Técnica  
Sigunit® L-60 AF  
19.11.14, Edición 6

2/3

BUILDING TRUST



#### NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe).

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición Nº 5  
la misma que deberá ser destruida”**

#### PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sigunit® L-60 AF :

##### 1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



##### 2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL



Sika Perú S.A.  
Concrete  
Centro Industrial "Las Praderas  
de Lurín" s/n MZ B, Lotes 5 y  
6, Lurín  
Lima  
Perú  
[www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

Hoja Técnica  
Sigunit® L-60 AF  
19.11.14, Edición 6

Versión elaborada por: Sika Perú  
S.A.  
CG Departamento Técnico  
Telf: 618-6060  
Fax: 618-6070  
Mail: [informacion@pe.sika.com](mailto:informacion@pe.sika.com)



© 2014 Sika Perú S.A.

BUILDING TRUST



## HOJA TÉCNICA

# SikaAer®

Aditivo incorporador de aire.

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

SikaAer® es un aditivo elaborado a base de agentes tensoactivos que adicionado al concreto genera microburbujas que se reparten uniformemente en la masa del concreto.

No contiene cloruros.

#### USOS

- Concreto sometido a bajas temperaturas.
- Concreto de subterráneos, cimientos, sobrecimientos, obras hidráulicas en general (represas, canales, etc).
- Concreto en carreteras, aeropuertos, entre otros.
- Transporte del concreto en camión tolva.
- Concreto a la vista, concreto bombeado.

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

##### En Concreto fresco:

- Permite un aumento en la trabajabilidad y/o una disminución en el agua de amasado.
- Reduce la segregación en el concreto, especialmente en las faenas de transporte.
- Reduce la exudación en el concreto.
- Incrementa la cohesión interna de la masa del concreto.
- Permite reducir el tiempo de vibración y colocación.
- Mejora el aspecto superficial del concreto.
- Incremento de la impermeabilidad.

##### En Concreto endurecido:

- Aumento de las resistencias a la acción de aguas agresivas.
- Incremento de las resistencias a ciclos de hielo y deshielo.
- Rompe la capilaridad.

### NORMA

Cumple con la Norma ASTM C 260.

### DATOS BÁSICOS

#### FORMA

#### ASPECTO

Líquido.

#### COLORES

Ámbar Translucido

#### PRESENTACIÓN

- Paquete x 4 envases PET x 4 L.
- Balde x 20 L.
- Cilindro x 200 L.

Hoja Técnica  
SikaAer®  
19.11.14, Edición 11

1/3

<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL</b> SikaAer® se puede almacenar durante 1 año en su envase original cerrado, sin deterioro y en lugar fresco y bajo techo. A temperaturas bajo 5 °C se puede producir turbidez en el aditivo, lo cual no altera su efectividad.
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>DENSIDAD</b> 1.01 - 1.02 kg/L
<b>INFORMACIÓN DEL SISTEMA</b>	
<b>DETALLES DE APLICACIÓN</b>	<b>CONSUMO / DOSIS</b> 0.02% a 0.12% del peso del cemento.
<b>MÉTODO DE APLICACIÓN</b>	<b>MODO DE APLICACIÓN</b> Se utiliza diluido en el agua de amasado. Mayores dosis pueden ser utilizadas si así se determina en ensayos previos con los materiales a usar en la obra. La incorporación de aire en un concreto depende principalmente de: Los agregados pétreos (granulometría y forma de los granos). Razón a/c. Dosis de cemento por m <sup>3</sup> de concreto elaborado. Finura del cemento. Relación áridos finos/gruesos. Tipo de mezcladora y tiempo de mezclado. Temperatura, etc. La plasticidad, a menor asentamiento se necesita mayor esfuerzo para lograr la cantidad de aire deseado.
<b>INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD</b>	
<b>PRECAUCIONES DE MANIPULACIÓN</b>	Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma naturales o sintéticos y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.
<b>OBSERVACIONES</b>	La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: <a href="http://www.sika.com.pe">www.sika.com.pe</a>
<b>NOTAS LEGALES</b>	La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web <a href="http://www.sika.com.pe">www.sika.com.pe</a> .



“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 10  
la misma que deberá ser destruida”

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE SikaAer® :

1.- SIKa PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



2.- SIKa CIUDAD VIRTUAL



Sika Perú S.A.  
Concrete  
Centro industrial "Las Praderas  
de Lurín" s/n MZ B, Lotes 5 y  
6, Lurín  
Lima  
Perú  
[www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

Hoja Técnica  
SikaAer®  
19.11.14, Edición 11

Versión elaborada por: Sika Perú  
S.A.  
CG, Departamento Técnico  
Telf: 618-6060  
Fax: 618-6070  
Mail: [informacion@pe.sika.com](mailto:informacion@pe.sika.com)



© 2014 Sika Perú S.A.





BUILDING TRUST



## HOJA TÉCNICA

# SikaSwell® A

Perfil hidroexpansivos, para el sellado de junta

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Perfil que expande al contacto con el agua para el sello de juntas constructivas en estructuras enterradas o que van a contener agua.

#### USOS

Para sellar:

- Juntas de construcción.
- Orificios en los muros y losas por la colocación de tubos o trabajos de acero.
- Juntas de concreto prefabricado.
- Juntas de concreto en canales.
- Todo tipo de inclusiones en concreto.

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Expande y sella las juntas al estar en contacto con el agua.
- Se puede aplicar sobre diferentes sustratos (se recomienda hacer pruebas previas a la aplicación).
- Expande para sellar huecos y grietas.
- Resistente al agua y varias sustancias químicas.
- No requiere tiempo de endurecimiento.
- No requiere soldadura.
- Se adapta a múltiples formas.
- Fácil de aplicar.
- Cumple con las siguientes normas:

- MPA NRW: P-22\_MPANRW-3918- Norma alemana para juntas de concreto (18.11.04).

- WISSBAU: 2002-094- Prueba de funcionalidad para la aplicación en juntas de concreto (20.06.04).

- MPA NRW: Prueba de materiales y propiedades de expansión (31.07.03).

- FH Aachen: Largo tiempo de estabilidad mecánica (11.09.93)

Hoja Técnica  
SikaSwell® A  
01.12.14, Edición 2

1/5

---

**DATOS BÁSICOS**

---

**FORMA****COLORES**

Perfil acrílico que expande al contacto con el agua color rojo

**CAMBIO DE VOLUMEN**

% Expansión	A 1 días	A 7 días	A 14 días	A 21 días
Agua potable	50 %	150 %	200 %	250 %
Agua con 5 % pH	50 %	100 %	130 %	150 %

**PRESIÓN DE SELLADO**

Menor o igual 16 bares después de 3 días sumergido en agua potable.

**PRESENTACIÓN**

El SikaSwell® A es un rollo con las siguientes dimensiones:

Tipo	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Largo (m)
2005	20	5	20

---

**ALMACENAMIENTO****CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL**

Doce (12) meses a partir de su fecha de fabricación, en su envase original bien cerrado y no deteriorado, bajo techo, en lugar seco y fresco.

---

**INFORMACIÓN DEL SISTEMA**

---

**DETALLES DE APLICACIÓN****RENDIMIENTO**

19 a 20 metros lineales dependiendo al cantidad de cortes y traslapes.

**MÉTODO DE APLICACIÓN****MODO DE EMPLEO**

Calidad de la superficie:

La superficie debe estar sana, limpia, seca y libre de contaminantes que puedan afectar el desempeño del producto.

Preparación de la superficie:

Todas las partículas sueltas, restos de desmoldantes, partes mal adheridas, se deberán eliminar por medios adecuados, ya sea mecánicos o manuales.

En superficies extremadamente rugosas se tienden a producir fugas, por lo tanto, se recomienda nivelar el concreto recién colado donde se vaya a colocar el perfil.

Aplicación del perfil:

- Limpiar la superficie ya que todas las partículas sueltas afectan negativamente la adherencia del perfil.

- Cortar le SikaSwell® A a la longitud requerida.
- Aplicar Sikaflex® 11 FC+ SikaSwell® S-2 para adherir el perfil donde se va aplicar.
- Presionar el perfil de SikaSwell® A sobre cualquiera de los dos productos antes mencionado para la adherencia. Es importante que este quede totalmente unido a la superficie.
- Los perfiles de SikaSwell® A deben estar colocados al menos a 8 cm de los extremos del concreto.

**Notas:**

- Proteger el SikaSwell® A del agua antes de colocar el concreto.
- Es importante conseguir una unión continua entre el perfil SikaSwell® A y la superficie.
- Durante la colocación del concreto compactar bien alrededor del SikaSwell® A
- El SikaSwell® A necesita un concreto denso sin huecos ni nidos de grava.

**LIMPIEZA**

Las herramientas se lavan con agua si el producto está aún fresco. Si ya está seco utilice un agente disolvente adecuado.

**PRECAUCIONES**

Los perfiles SikaSwell® A expanden en contacto con agua. Esto no sucede inmediatamente, sino que suele realizarse después de varias horas.

No obstante es aconsejable no dejar los perfiles SikaSwell® A al aire libre o expuestos al agua de lluvia. (Max. 24 horas mientras se da salida al agua).

No utilice SikaSwell® A Perfiles para juntas con movimiento.

Si el nivel del agua se incrementa repentinamente la impermeabilidad de las juntas solo se logra cuando los perfiles

SikaSwell® A se han hinchado.

En un estado totalmente seco los perfiles SikaSwell® A se reducen a sus dimensiones originales, pero expanden de nuevo en contacto con el agua.

No utilice los perfiles SikaSwell® A para el sellado contra presiones de agua superiores a 2 bar debido a la limitada distancia de sellado.

Si los perfiles SikaSwell® A se fijan alrededor de tubos de diámetro pequeño use una fijación adicional mecánica como un alambre de sujeción o manguito.

Todos los datos técnicos de esta Hoja Técnica del Producto están basados en ensayos de laboratorio. Los datos reales pueden variar debido a circunstancias que escapen de nuestro control.

Tener en cuenta que, como resultado de regulaciones locales específicas, el funcionamiento de los productos puede variar de país a país.



---

## INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

---

### PRECAUCIONES DE MANIPULACIÓN

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintética y anteojos de seguridad.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

---

### OBSERVACIONES

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

---

### NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe).

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 1**

**la misma que deberá ser destruida”**

---

Hoja Técnica  
SikaSwell® A  
01.12.14, Edición 2

4/5

**BUILDING TRUST**





## **ETAPA DE RESANE Y/O REPARACIONES**





## HOJA TÉCNICA

# Sikadur®- 32 Gel

Puente de Adherencia

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es un adhesivo de dos componentes a base de resinas epóxicas seleccionadas, libre de solventes.

#### USOS

- Como adhesivo estructural de concreto fresco con concreto endurecido.
- Como adhesivo entre elementos de concreto, piedra, mortero, acero, fierro, fibra cemento, madera.
- Adhesivo entre concreto y mortero.
- En anclajes de pernos en concreto o roca, donde se requiere una puesta en servicio rápida (24 horas).

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Fácil de aplicar
- Libre de solventes
- No es afectado por la humedad
- Altamente efectivo, aun en superficies húmedas
- Trabajable a bajas temperaturas
- Alta resistencia a la tracción

### DATOS BÁSICOS

#### FORMA

#### COLORES

GRIS (MEZCLA A+B)

#### ASPECTO

Líquido Denso

#### PRESENTACIÓN

Juego de 1 kg.

Juego de 5 kg.

#### ALMACENAMIENTO

#### CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL

Se puede almacenar en su envase original cerrado, sin deterioro en un lugar fresco, seco y bajo techo durante dos años a una temperatura entre 5°C y 30°C. Acondicione el material a 18°C a 30°C antes de usar.

Hoja Técnica  
Sikadur®- 32 Gel  
21.01.15, Edición 6

1/4

<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<p><b>DENSIDAD</b> 1.6 kg/lts.</p> <p><b>PROPORCIÓN DE LA MEZCLA EN PESO</b> A:B = 2:1</p> <p><b>Pot life a 20°C</b> 25 minutos</p> <p><b>Cumple la norma ASTM C-881</b> Standard Especification for Epoxy-Resin-Base Bonding System for Concrete. Está certificado como producto no tóxico por el Instituto de Salud Pública de Chile.</p> <p><b>Resistencia a compresión (ASTM D 695)</b> 1 día = 75 Mpa 10 días = 90 Mpa</p> <p><b>Resistencia a flexión (ASTM C 580)</b> 10 días = 34 Mpa</p> <p><b>Adherencia( ASTM C 882)</b> &gt; 13 Mpa</p> <p><b>Fuerza de arrancamiento de anclaje en concreto H25(fe A63-42H, 012mm, L=L=12cm)</b> 6.000 kgf</p> <p><b>USGBC VALORACIÓN LEED</b> Sikadur®-32 Gel cumple con los requerimientos LEED. Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants.</p> <p>Contenido de VOC &lt; 70 g/L (menos agua)</p>
-----------------------	--

## INFORMACIÓN DEL SISTEMA

<b>DETALLES DE APLICACIÓN</b>	<p><b>CONSUMO / DOSIS</b> El consumo aproximado es de 0.3 a 0.5 kg/m<sup>2</sup>, dependiendo de la rugosidad y temperatura de la superficie.</p>
<b>MÉTODO DE APLICACIÓN</b>	<p><b>CONCRETO</b> Al momento de aplicar Sikadur®-32 Gel el concreto debe encontrarse limpio, libre de polvo, partes sueltas o mal adheridas, sin impregnaciones de aceite, grasa, pintura, entre otros. Debe estar firme y sano con respecto a sus resistencias mecánicas.</p> <p>La superficie de concreto debe limpiarse en forma cuidadosa hasta llegar al concreto sano, eliminando totalmente la lechada superficial. Esta operación se puede realizar con chorro de agua y arena, escobilla de acero, y otros métodos. La superficie a unir debe quedar rugosa.</p> <p><b>Metales</b> Deben encontrarse limpios, sin óxido, grasa, aceite, pintura, entre otros. Se recomienda un tratamiento con chorro de arena a metal blanco o en su defecto utilizar métodos térmicos o físicos químicos.</p> <p><b>PREPARACIÓN DEL PRODUCTO</b> Mezclar totalmente las partes A y B en un tercer recipiente limpio y seco, revolver en forma manual o mecánica con un taladro de bajas revoluciones (máx. 600 r.p.m.) durante 3–5 minutos aproximadamente, hasta obtener una mezcla homogénea. Evitar el aire atrapado.</p>

Hoja Técnica  
Sikadur®- 32 Gel  
21.01.15, Edición 6

2/4

BUILDING TRUST



En caso que el volumen a utilizar sea inferior al entregado en los envases, se pueden subdividir los componentes respetando en forma rigurosa las proporciones indicadas en Datos Técnicos.

#### METODO DE APLICACIÓN

La colocación de Sikadur®-32 Gel se realiza con brocha, rodillo o pulverizado sobre una superficie preparada. En superficies húmedas asegurar la aplicación restregando con la brocha.

El concreto fresco debe ser vaciado antes de 3 horas a 20°C o 1 hora a 30°C de aplicado el Sikadur®-32 Gel. En todo caso el producto debe encontrarse fresco al vaciar la mezcla sobre él.

#### LIMPIEZA

Limpie las herramientas con diluyente a la piroxilina.

### INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

#### OBSERVACIONES

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

#### PRECAUCIONES DE MANIPULACION

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de gomas naturales o sintéticas y anteojos de seguridad.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

#### NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe).

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición Nº 5**

**la misma que deberá ser destruida”**

Hoja Técnica  
Sikadur®- 32 Gel  
21.01.15, Edición 6

3/4

**BUILDING TRUST**



PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sikadur®- 32 Gel :

1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL



Sika Perú S.A.  
refurbishment  
Centro Industrial "Las Praderas  
de Lurín" s/n MZ B, Lotes 5 y 6,  
Lurín  
Lima  
Perú  
[www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)  
  
Hoja Técnica  
Sikadur®- 32 Gel  
21.01.15, Edición 6

Versión elaborada por: Sika Perú S.A.  
NA, Departamento Técnico  
Telf: 618-6060  
Fax: 618-6070  
Mail: [informacion@pe.sika.com](mailto:informacion@pe.sika.com)



© 2014 Sika Perú S.A.

BUILDING TRUST



## HOJA TÉCNICA

# Sika® Abraroc PE

Mortero Resistente a Abrasión y de Rápido Endurecimiento.

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® Abraroc PE es un mortero predosificado de alta calidad, de un componente y listo para usar, cuya especial característica es su alta resistencia a la abrasión a corta edad. Está compuesto de aglomerantes especiales, agregados de alta resistencia, fibras, aditivos y adiciones.

#### USOS

Protección y reparación de obras mineras e hidráulicas sometidas a abrasión, tales como:

- Pavimentos
- Túneles
- Canales
- Obras marítimas, puertos
- Plantas de tratamiento de aguas industriales

Protección y reparación de obras industriales sometidas a abrasión:

- Bodegas y áreas de almacenamiento
- Silos de granos, minerales, etc.

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Alta resistencia a la abrasión e impacto
- Altas resistencias mecánicas a compresión y flexión
- Rápida puesta en servicio ( 6 horas a 23°C)
- Fácil de aplicar

### DATOS BÁSICOS

#### FORMA

#### ASPECTO

Polvo

#### COLORES

Gris

#### PRESENTACIÓN

Saco x 25 Kg.

#### ALMACENAMIENTO

#### CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL

Sika® Abraroc PE debe mantenerse en sitio fresco y bajo techo; en estas condiciones se puede almacenar en su envase cerrado original durante 6 meses.

Hoja Técnica  
Sika® Abraroc PE  
21.01.15, Edición 3



<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>RESISTENCIA</b> Resistencia a compresión según ASTM C- 109 ( 23°C), valores aprox.: <table><tr><td>6 hrs.</td><td>30 MPa</td></tr><tr><td>24 hrs.</td><td>40 MPa</td></tr><tr><td>7 días.</td><td>50 MPa</td></tr><tr><td>28 días.</td><td>60 MPa</td></tr></table> <b>USGBC VALORACIÓN LEED</b> Sika® Abraroc PE cumple con los requerimientos LEED. Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants. Contenido de VOC < 70 g/L (menos agua)	6 hrs.	30 MPa	24 hrs.	40 MPa	7 días.	50 MPa	28 días.	60 MPa
6 hrs.	30 MPa								
24 hrs.	40 MPa								
7 días.	50 MPa								
28 días.	60 MPa								
<b>INFORMACIÓN DEL SISTEMA</b>									
<b>DETALLES DE APLICACIÓN</b>	<b>CONSUMO / DOSIS</b> Aprox. 1,9 kg. De Sika® Abraroc PE por litro de mezcla preparada.								
<b>MÉTODO DE APLICACIÓN</b>	<b>PREPARACIÓN DE SUPERFICIE</b> Al momento de aplicar Sika® Abraroc PE la superficie debe encontrarse limpia, rugosa, exenta de polvo, partes sueltas o mal adheridas, sin impregnaciones de grasa, aceite, pintura, o cualquier material que afecte la adherencia. Firme y sana con respecto a sus resistencias mecánicas. Para una adecuada limpieza es recomendable el uso de chorro de arena u otro método mecánico tales como: escarificadoras, gratas de acero, etc. Como puente de adherencia debe aplicarse Sikadur®-32 ó Colma Fix-32 sobre la superficie preparada. <b>MEZCLADO</b> Agregar aproximadamente 0.12 litros de agua por kilo de Sika® Abraroc PE (3 litros de agua por saco de 25 kilos), mezclar en mezclador de mortero durante 5 minutos hasta obtener consistencia uniforme. Aplicar el producto antes de transcurridos 15 minutos de su preparación. Para aplicar en vertical, ajuste la cantidad de agua a una consistencia plástica que no escurra y ayúdese con un madero de soporte inferior. <b>CONDICIONES DE CURADO</b> Mantener el producto húmedo por lo menos durante 24 horas; en tiempo caluroso proteger del sol directo y del viento. Todos los datos técnicos del producto indicados en esta hoja de datos se basan en pruebas de laboratorio. Los datos medidos reales pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.								
<b>INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD</b>									
<b>OBSERVACIONES</b>	La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: <a href="http://www.sika.com.pe">www.sika.com.pe</a>								

#### NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe).

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 2  
la misma que deberá ser destruida”**

#### PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sika® Abraroc PE :

##### 1.- SIKa PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



##### 2.- SIKa CIUDAD VIRTUAL



Sika Perú S.A.  
Refurbishment  
Centro Industrial "Las Praderas"  
de Lurín s/n MZ B, Lotes 5 y  
6, Lurín  
Lima  
Perú  
[www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

Hoja Técnica  
Sika® Abraroc PE  
21.01.15, Edición 3

Versión elaborada por: Sika Perú  
S.A.  
JS, Departamento Técnico  
Telf: 618-6060  
Fax: 618-6070  
Mail: [informacion@pe.sika.com](mailto:informacion@pe.sika.com)



© 2014 Sika Perú S.A.



Hoja Técnica  
Edición 02, 09/03/15, JP  
ADITIVOS ESPECIALES S.A.C.  
Per-Pox 31M

## PER-POX 31M

Masilla multipropósito para reparaciones a base de resina epóxica modo gel.

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

PER-POX M es un sistema a base de resinas epóxicas 100% sólidos de alta resistencia y alto módulo de abrasión, insensible a la humedad, sin corrimiento. Se usa para adherir mezclas a base de cementos a superficies de concreto correctamente preparadas y limpias. Consta de dos componentes, Parte "A" resina Parte "B" endurecedor. Se adhiere a cualquier material, incluso metal, ladrillos, piedra, madera, y otros.

**Cumple con la norma ASTM C-881 TIPO I, II, IV, GRADO 3, CLASE B Y C.**

### USO

Especial para garantizar una perfecta adherencia estructural de concreto fresco a concreto endurecido, el cual debe estar debidamente escarificado y limpio. Para anclajes horizontales y verticales. No escurre es especial para reparaciones y uniones en superficies verticales, techos, anclajes. Para pegar planchas metálicas a concreto cuando se hacen refuerzos de vigas y columnas (*no deja ningún vacío*). Especial para uniones de juntas EMSEAL. Reparación de orificios y resquebrajamientos en concreto. Relleno de orificios originados por la oclusión de aire. Reparación de madera. Unión de concreto endurecido a concreto endurecido. Sellador de grietas para sistema de inyección.

### VENTAJAS

- Sistema fácil de utilizar.
- Excelente adherencia que garantiza el pegado entre elementos estructurales
- Excelente adherencia en superficies húmedas.
- Por su consistencia pastosa no chorrea en superficies verticales especiales para reparaciones y anclajes.
- Protege el fierro y concreto de ataques químicos.
- Para anclaje de fierros, pernos, soportes, tirantes y maquinarias.
- Es trabajable a altas y bajas temperaturas.
- Produce una rápida generación de resistencia química y mecánica.
- Forma un recubrimiento resistente al desgaste para losas de pisos industriales en reparaciones.
- Por su alta resistencia a la tracción es especial para anclajes de pernos o varillas de fierro.

### SUPERFICIES RECOMENDADAS

Es especial para:

- Concreto.
- Mortero.
- Fierro.
- Acero.
- Fibra de cemento.
- Aluminio.
- Mármol.
- Cerámica.
- Vidrio.

### ENVASES

- Juego 1 Kg.
- Juego 5 Kg.
- Juego de 25 Kg.

### TIEMPO DE VIDA-ALMACENAMIENTO

Los envases sellados de este producto se garantizan durante 1 año si se mantiene bajo techo. En caso el producto este vencido consultar al fabricante para la revisión y aceptación de su uso. Almacenar a temperaturas mayores de 0°C y menores de 30°C.

### LIMITACIONES

No presenta ningún tipo de limitaciones sobre las superficies recomendadas.

### PRECAUCIONES

Puede irritar los ojos y la piel evitar contacto directo con los ojos o contacto prolongado con la piel, en caso de contacto lavarse automáticamente con agua. Puede causar problemas respiratorios y estomacales. Mantener fuera del alcance de los niños. En caso de derrame cubrir con abundante arena o tierra, recoger y botar. En caso de contacto lavar con detergente, solventes y abundante agua.

### PRECAUCIONES

- Puede irritar los ojos y la piel evitar contacto directo con los ojos o contacto prolongado con la piel, en caso de contacto lavarse automáticamente con agua.
- En caso de contacto lavar con detergente, solventes y abundante agua.
- No ingerir puede causar problemas respiratorios y estomacales. Mantener fuera del alcance de los niños.
- En caso de derrame cubrir con abundante arena o tierra, recoger y botar.
- En caso de contacto lavar con detergente, solventes y abundante agua.

PER - POX 31M

#### DATOS TÉCNICOS

Apariencia:		Pastoso	
Color	Parte A (Resina) Blanco	Parte B (Catalizador) Negro	
Color de la mezcla	Gris		
Densidad	1.36 kg/l	1.47 kg/l	
Densidad de la Mezcla:	1.66 Kg/l		
Relación en Volumen	1	1	
Relación en peso(gr)	2,700 gr	2,300 gr	
Relación de la mezcla en peso(gr) (A / B)	1.17		
	HR:55-65% 15°C	HR:55-68% 25°C	HR:50-60% 40°C
-Tiempo de vida de mezcla en el envase	24 min.	22 min	5 min
-Tiempo de trabajabilidad antes de la unión	1H 20min.	52 min.	23 min.
-Curado inicial	2.h 30min.	1h 18min.	27 min.
	3 h 50min.	1h 38min.	31 min.
<b>Norma: ASTM 881 Tipo I II IV Grado 3 clase B y C</b>			
Ensayo flexión en concreto viejo a viejo fc' 210 kg/cm2	42.75 kg/cm2	(falla en el concreto fuera del union de pegado)	
Ensayo flexión en concreto nuevo a viejo fc' 210 kg/cm2	43.60 kg/cm2	(falla en el concreto fuera del union de pegado)	
Ensayo de adherencia acero con concreto a los 7 días	4500 kg/cm2 aprox. y fallo el concreto.		

#### APLICACIÓN

##### LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE

###### Superficie de Concreto

La superficie tiene que estar limpia de polvo, grasa, partes sueltas o mal adheridas. Recomendamos escobillar con cepillo de acero.

###### Preparación

De utilizar todo el producto mezclar ambas partes por separado durante 5 minutos, luego mezclar ambas partes en un tercer recipiente limpio y seco, siempre debe verterse la parte "B" sobre la parte "A", revolver manualmente o mecánicamente por 10 minutos.

En caso quiera utilizar menos cantidad del que esta en el envase original, se puede hacer mezclando primero por separado y luego en proporción 1 de la parte "A" y 1 de la parte "B" en volumen.

###### NOTA

Una vez mezclado el producto tiene 20 minutos para aplicarlo y 02 horas para vaciar el concreto nuevo. Para limpiar las herramientas usadas utilizar solvente o thinner antes de los 20 minutos de mezclado ambos componentes. Es compatible con todas las mezclas a base de cemento.

#### APLICACIÓN PARA ANCLAJE DE PERNOS Y ARMADURAS EN CONCRETO

Las irregularidades profundas en la superficie pueden embajarse emparejarse con una mezcla 1:1 de arena: mezcla PER-POX 31 M deje que esta mezcla se endurezca y posteriormente en un período de 24 horas aplique PER-POX 31 M. Con una llana en cantidad suficiente para rellenar todos los espacios entre las superficies a adherir.

El espesor de la línea de la adherencia deberá ser de entre 0.75 mm y 3mm (1/32" y 1/8"). Idealmente, deberá extraerse una pequeña cantidad del agente adherente al unir las superficies y al aplicar presión en las mismas las mismas. Las superficies deben adherirse cuando la pasta todavía esté pegajosa (dentro del rango de tiempo que se puede trabajar el adhesivo antes de la unión).

##### Preparación

Como indica la especificación.

##### Perforación

Cuando la resistencia del concreto sea igual o mayor a 210 Kg/Cm2 o los pernos tenga cabeza, gancho, la profundidad tiene que ser 10 veces el diámetro del perno. Cuando la resistencia sea menor a 210 Kg/Cm2 y se usen pernos lisos, la profundidad tiene que ser 15 veces el diámetro del perno.

##### Diámetro de la perforación

El diámetro tiene que ser de un mínimo de 6 mm y un máximo de 36 mm mayor que el perno.

##### Colocación del pemo

Los pernos son lijados y limpios.

Rellenar el hueco con epoxico, puede aplicar epoxico también directamente al perno y colocarlo suavemente.

##### Puesta en servicio

Poner en servicio el anclaje a las 24 horas.

Para fierros corrugados aplicar PER POX 31 M en la perforación, aplicar a la varilla y colocar el andaje.

#### RENDIMIENTO Y CONSUMO

Se recomienda usar clasificar en 1.7kg/L. de relleno consumo aproximado 1.7kg/m2 en 1mm de espesor.

PER - POX 31M



PER - POX 31M



**GARANTÍA LIMITADA**

Aditivos le garantiza en el momento y en el lugar que se efectuó el despacho, que nuestro material será de buena calidad y estará en conformidad con nuestras especificaciones publicadas vigentes en la fecha de aceptación del pedido.

**LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

La ilustración contenida en el presente se incluye únicamente para fines ilustrativos, y a nuestro más leal saber, es fiel y correcta. Sin embargo AE no puede ofrecer, bajo ninguna circunstancia, garantía alguna de los resultados ni asumir ninguna obligación ni responsabilidad en relación con el uso de esta información. Dado que AE no tiene ningún control sobre el uso que se pueda hacer de su producto, se recomienda probar los productos para determinar si son aptos para un uso específico y/o si nuestra especificación es válida en una circunstancia determinada. La responsabilidad reside en el usuario en cuanto al diseño, la aplicación y la instalación correcta de cada producto. El fabricante y el usuario determinarán la idoneidad de los productos para una aplicación específica y asumirán toda responsabilidad en relación con la misma.

**ADITIVOS ESPECIALES S.A.C**

Psje. San Francisco N°151 Manz O.  
lote N°1 - Tablada Lurín  
Distrito de Villa María del Triunfo  
Telefax: (01)280-7092  
Cel: 948597540

[www.aditivosespeciales.com.pe](http://www.aditivosespeciales.com.pe)

**SUCURSALES**

**Oficina-Arequipa**  
Calle Jacinto Ibañez 102  
Maria Isabel-Cercado  
Telefax: 51-54-282872  
958593919  
[pbarrios@coreperu.com](mailto:pbarrios@coreperu.com)

**Trujillo- La libertad**  
CV Covicorti MZ. W3 LT 005  
Teléfono: (044) 289753  
51\*614\*2767 - 948597691  
[ventastrujillo@aditivosespeciales.com.pe](mailto:ventastrujillo@aditivosespeciales.com.pe)

**Piura -Castilla**  
Av Luis Montero 486  
Miraflores  
Teléfono: (073) 343927  
\*901627 - 969 687 665  
[lparedi@aditivosespeciales.com.pe](mailto:lparedi@aditivosespeciales.com.pe)

**Oficina-Ayacucho**  
Jr.Manco Capac 656  
Telef: 066-313532  
#990970202

**Oficina-Andahuaylas**  
Av.Los Chancas 505  
Telef: 083205199  
#945540755

 Marca registrada de Aditivos Especiales S.A.C